

В. А. ЛЕШКОВЦЕВ

Атомная энергия

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА
ВЫПУСК 72

В. А. ЛЕШКОВЦЕВ

АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1954

16-2-1

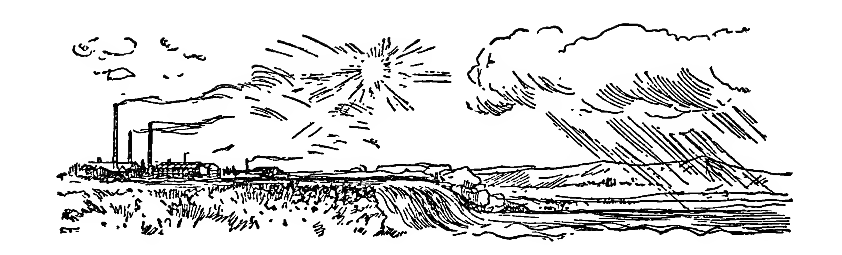
СОДЕРЖАНИЕ

В. А. Лешковцев. Атомная энергия.
Редактор *Д. А. Катренко.*
Техн. редактор *Р. А. Негримовская.* Корректор *Ц. С. Варшавская.*

Сдано в набор 27/IV 1954 г. Подписано к печати 2/VII 1954 г. Бумага 84 × 108/32.
Физ. печ. л. 2,25. Условн. печ. л. 3,69. Уч.-изд. л. 3,64. Тираж 250 000 экз. Т-04839.
Цена книги 1 руб. 10 к. Заказ № 1320.

Государственное издательство технико-теоретической литературы.
Москва, Б. Калужская, 15.

Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома
Главиздата Министерства культуры СССР. Москва, Валовая, 28.



ВВЕДЕНИЕ

Энергия играет большую роль в нашей жизни. Все машины и механизмы работают только потому, что они используют энергию. Энергия скрыта в топливе, которое сжигают в топке паровоза, в падающей воде, в сжатой пружинке, заставляющей двигаться стрелки часов. Освобождая и расходуя её, мы получаем работу. Поэтому энергией называется способность производить работу.

Человек давно научился использовать механическую энергию ветра и падающей воды, химическую энергию топлива, электрическую энергию. Всё это в конечном итоге — преобразованная энергия Солнца.

Нагревая поверхность Земли, Солнце порождает ветер. Испаряя воду, солнечная теплота создаёт дожди, которые питают реки. Уголь и нефть хранят солнечную теплоту, поглощённую древней растительностью.

Уже несколько миллиардов лет Солнце испускает без заметного ослабления огромное количество тепла и света. Откуда же оно получает столько энергии?

Источником энергии Солнца и других звёзд являются ядерные реакции, при которых освобождается *атомная*, или *ядерная энергия*.

Теперь люди научились освобождать большие количества атомной энергии. Её источниками служат мельчайшие частицы вещества — атомные ядра.

Запасы атомной энергии на Земле очень велики; её использование в мирных целях открывает перед человечеством необозримые возможности, ещё недавно казавшиеся недостижимыми.

О том, как сейчас получают и используют атомную энергию, и рассказывается в этой книжке.

I. АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО

1. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

Прежде чем рассказывать о том, как добывают и используют атомную энергию, мы познакомимся с замечательной «кладовой» природы — атомами и атомными ядрами, хранящими эту энергию.

Богат и разнообразен окружающий нас мир. Воздух и вода, железо и алмазы, уголь и нефть, стебель растения и ткань живого организма — нет конца разнообразию веществ в природе.

Вещества бывают простые и сложные. Большинство веществ имеет сложный состав. Их можно разложить на более простые вещества. Так, например, вода состоит из двух веществ — водорода и кислорода. Водород и кислород уже нельзя химическими способами разложить на другие вещества, поэтому их называют *химическими элементами*. К химическим элементам принадлежат алюминий, золото, сера, железо, свинец, медь и др. вещества. Всего нам известно около ста различных химических элементов. Соединяясь в разных количествах друг с другом, они образуют все существующие в природе вещества.

Каждый химический элемент состоит из мельчайших материальных частиц, называемых атомами. Атомы очень малы. На линии длиной в один сантиметр помещается около ста миллионов атомов, уложенных в ряд. Если атомы, находящиеся в одном грамме железа, распределить по всей поверхности земного шара равномерным слоем, то на каждом квадратном сантиметре поверхности Земли окажется почти 2000 атомов железа.

Вес атома в граммах ничтожен. Например, один атом серы весит около 0, 000 000 000 000 000 000 000 05 грамма. Так как это очень маленькая величина, учёные условились вместо веса атомов в граммах пользоваться так называемым *относительным атомным весом*, т. е. сравнивать вес атома данного элемента с весом самого лёгкого атома (атома водорода) *), условно принятым за

*) Говоря более точно, за единицу атомного веса принимают $^1/_{16}$ веса атома кислорода, который почти в 16 раз тяжелее атома водорода.

единицу. Например, каждый атом природного алюминия в 27 раз тяжелее атома водорода. Следовательно, атомный вес алюминия равен 27.

2. ВЕЛИКИЙ ЗАКОН ПРИРОДЫ

Решающую роль в познании строения вещества и овладении атомной энергией сыграло открытие одного из наиболее важных законов природы — периодического закона. В 1869 году гениальный русский учёный Д. И. Менделеев установил, что если расположить все химические элементы в порядке возрастания их атомных весов, то через определённые периоды будут встречаться элементы с очень похожими свойствами. Располагая такие элементы друг под другом, он построил периодическую систему химических элементов.

Создание периодической системы было величайшим научным подвигом Менделеева. В 1869 году было известно лишь немного более 60 элементов. Из них только 35 можно было уверенно расположить в системе; у остальных элементов даже основные свойства были изучены совершенно недостаточно. Однако Менделеев был глубоко уверен в правильности открытого им закона. Размещая химические элементы в периодической системе, он изменил атомные веса ряда элементов и предположил, что у некоторых из них должны существовать ещё не обнаруженные в то время свойства. В некоторых случаях учёный оставил в системе пустые клеточки, указав, что они должны быть заняты ещё не открытыми элементами, и даже предсказал свойства этих элементов. Дальнейшее развитие науки блестяще подтвердило предвидения Д. И. Менделеева.

Посмотрите на периодическую систему элементов в её современном виде (она приведена в конце книги). В каждой клеточке этой системы находится по одному элементу. Вверху в ней указаны номер элемента и его условное обозначение, ниже приведены название элемента и его атомный вес.

Каждый вертикальный столбец с расположенными друг под другом элементами образует группу. Всего таких групп девять (девятая группа — нулевая). Элементы каждой группы весьма сходны между собой. При переходе от группы к группе их свойства закономерно

меняются. Поэтому, зная место элемента в периодической системе Менделеева, можно предсказать его основные свойства.

Периодическая система помогает учёным глубже познавать не только строение различных веществ, но и строение атомов, образующих эти вещества. Она служит путеводной нитью при изучении весьма своеобразного мира атомов и атомных ядер.

3. КАК УСТРОЕНЫ АТОМЫ

Атомы так малы, что их нельзя увидеть даже с помощью самых сильных увеличительных приборов. Вместе с тем, они имеют довольно сложное строение.

Большую роль в изучении строения атомов сыграли работы английского физика Резерфорда и датского физика Бора.

По современным представлениям в центре любого атома находится маленькое тяжёлое тело — *атомное ядро*. Поперечник ядра примерно в 100 000 раз меньше поперечника атома. Но именно в этом очень маленьком ядре и заключена основная доля массы атома. Ядро имеет положительный электрический заряд, величина которого различна у атомов разных элементов.

Вокруг ядра, на расстояниях, в десятки и сотни тысяч раз превосходящих его размеры, с огромной скоростью движутся мельчайшие частицы, несущие заряд отрицательного электричества — *электроны*. Каждый электрон примерно в 1840 раз легче атома водорода и поэтому на их долю приходится лишь небольшая часть массы атома. Число электронов в каждом атоме равно числу положительных зарядов, заключённых в его ядре. Например, атом кислорода, газа, которым мы дышим, имеет 8 зарядов в ядре и 8 электронов. Так как одинаковое число положительных и отрицательных зарядов друг друга нейтрализует, то атомы в обычных состояниях являются электрически незаряженными или, как принято говорить, нейтральными.

Между номером (положением) элемента в периодической системе, от которого зависят химические свойства элемента, и зарядом ядра его атомов существует очень простая связь: заряд ядра, а следовательно, и число обращающихся вокруг него электронов, равны порядковому

номеру элемента в периодической системе Менделеева. Например, химический элемент гелий стоит на втором месте в периодической системе; это значит, что каждый атом гелия имеет 2 положительных заряда в ядре, и вокруг ядра обращаются 2 электрона. Кислород, имея 8 зарядов в ядре и 8 электронов, занимает в системе Менделеева восьмое место. Атом урана, занимающий в периодической системе девяносто второе место, имеет 92 положительных заряда в ядре и столько же электронов.

Электроны в атомах располагаются несколькими слоями. Например, 92 электрона атома урана располагаются так: 2 образуют ближайший к ядру слой; в следующий, более отдалённый от ядра слой, входит 8 электронов; затем опять 8, далее 18, 18, 32. Последние 6 электронов образуют наиболее далёкий от ядра внешний слой и удерживаются ядром с наименьшей силой. Они легче всего могут объединяться с электронами других атомов. Основные химические свойства атомов, их способность к различным химическим превращениям определяются главным образом именно этими внешними электронами.

4. ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ И СВЯЗАННАЯ С НИМИ ЭНЕРГИЯ

Познакомимся теперь с химическими реакциями и с освобождаемой при них энергией. Это поможет нам лучше понять ядерные реакции, которые служат источником атомной энергии.

Соединяясь друг с другом, атомы образуют мельчайшие частицы более сложных веществ — молекулы. Например, молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Так как водород принято обозначать буквой H, а кислород — буквой O, то молекулу воды обозначают так: H_2O.

Соединение атомов в молекулы и является одним из видов *химических реакций*. При химических реакциях атомы либо объединяются в молекулы, либо выходят из состава молекул.

Возьмём пример горения угля. Уголь состоит из атомов углерода. При горении угля каждый атом углерода соединяется с двумя атомами кислорода; в результате образуется молекула углекислого газа. Пользуясь условными

обозначениями атомов, можно записать эту реакцию следующим образом:

$$\underset{\text{углерод}}{C} + \underset{\text{кислород}}{O_2} = \underset{\text{углекислый газ}}{CO_2}.$$

Но образование углекислого газа — не единственный результат этой реакции. При горении угля выделяется большое количество теплоты. Сжигая 1 килограмм самого высококачественного угля, можно получить около 8000 больших калорий теплоты *). Таким количеством теплоты можно нагреть 80 литров воды от нуля градусов до кипения.

Откуда же берётся эта теплота?

Каждый знает, что для того чтобы поднять камень на некоторую высоту, необходимо затратить какое-то количество энергии, так как камень притягивается к Земле. На преодоление этого притяжения и расходуется энергия. При падении камня энергия выделяется; при этом камень производит работу, например разбивает лежащее на земле стекло.

Если бы Земля не притягивала, а отталкивала камень, то картина была бы обратной: приближение камня к Земле требовало бы расхода энергии, а при удалении камня от Земли происходило бы выделение энергии.

Такая же картина наблюдается при движении любых тел, на которые действуют силы притяжения или отталкивания, независимо от природы этих сил. *Сближение притягивающихся тел всегда сопровождается выделением энергии, а удаление их друг от друга — затратой энергии. Сближение же тел, которые отталкивают друг друга, сопровождается затратой энергии, а удаление таких тел друг от друга — выделением энергии.*

Атомы углерода и кислорода объединяются в молекулы углекислого газа под влиянием действующих между ними химических сил притяжения. Те же силы удерживают атомы в молекулах. Мы уже знаем, что при сближении притягивающихся тел должна выделяться энергия. Поэтому образование молекул углекислого газа сопро-

*) Большой калорией называют количество теплоты, которым можно 1 килограмм воды нагреть на 1° С. Малая калория в 1000 раз меньше большой калории.

вождается освобождением энергии; эта энергия и является источником теплоты, выделяемой горящим углем.

Если бы при столкновении атомов углерода и кислорода не выделялась энергия, столкнувшиеся атомы в любую минуту могли бы вновь разойтись. Отдав же некоторое количество энергии в окружающую среду, атомы углерода и кислорода оказываются связанными в молекулы и уже не могут сами разлететься в разные стороны. Для того чтобы разделить молекулу углекислого газа на атомы, надо вернуть ей утраченную энергию. При этом атомы снова окажутся свободными. Чем больше энергии освобождается при образовании молекул, тем прочнее будут связаны в них атомы и тем больше энергии придётся израсходовать для освобождения этих атомов из молекул. Так, для получения одного килограмма углерода (угля) из углекислого газа надо израсходовать около 8000 больших калорий теплоты, то-есть вернуть теплоту, выделившуюся при сгорании такого же количества угля.

Образование молекул углекислого газа из атомов углерода и кислорода происходит путём объединения их внешних электронов. Не только при горении, но и в других химических реакциях участвуют только наиболее далёкие от ядра электроны. Что же касается атомных ядер, то они никакого участия в химических реакциях не принимают.

Оторвать электрон от атома сравнительно легко. Достаточно нагреть вещество до 2000—3000 градусов, чтобы его атомы начали терять свои внешние электроны. Оказать же какое-либо воздействие на атомные ядра чрезвычайно трудно. Атомные ядра значительно прочнее электронных оболочек атомов. Они также имеют сложное строение.

5. СТРОЕНИЕ АТОМНЫХ ЯДЕР

Мы познакомились с тем, как устроены атомы разных элементов. А сейчас посмотрим, как устроены их атомные ядра, ибо в них-то и хранится атомная энергия. Ядра атомов любого химического элемента состоят из частиц двух видов — протонов и нейтронов. Протон — это частица, масса которой равна атомной единице, т. е. совпадает с массой ядра водорода. Протон имеет один положительный электрический заряд. Нейтрон также имеет массу, примерно равную единице, но электрического заряда у него нет. По данным современной науки протоны

и нейтроны (а также и электроны) не состоят из каких-либо более мелких частиц. Поэтому их называют «элементарными», т. е. простейшими частицами. Представление о протонно-нейтронном строении атомных ядер впервые было выдвинуто советским физиком Д. Д. Иваненко.

Мы уже говорили об атоме гелия. Его ядро имеет два положительных электрических заряда и удерживает в оболочке два электрона (рис. 1). Но атомный вес гелия равен четырём.

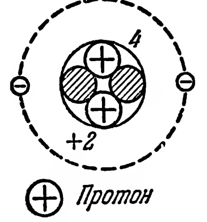


Рис. 1. Схема строения атома гелия.

Чем это объяснить?

В ядре атома гелия содержатся два положительных заряда. Значит, в нём находятся два протона, несущих эти заряды. Масса двух протонов равна двум атомным единицам. Кроме того, в ядре находятся ещё два нейтрона. Два протона и два нейтрона и дают массу, равную четырём. Так построено ядро атома гелия — одного из самых лёгких элементов *).

Огромную помощь в изучении строения атомов оказывает учёным периодическая система Менделеева. Она позволяет сразу определить, сколько электронов, протонов и нейтронов входит в состав любого атома. Порядковый номер элемента указывает число протонов и электронов в атоме, а атомный вес — полное число частиц в его ядре. Вычитая из этой величины число протонов, мы узнаем, сколько нейтронов содержится в атомном ядре. Например, порядковый номер урана равен 92, а атомный вес — 238. Следовательно, атом урана имеет 92 электрона, а в его ядре находится 92 протона; количество же нейтронов равно 238 — 92 = 146.

Общее число входящих в ядро частиц называют м а с с о в ы м ч и с л о м. Оно приближённо равно атомному весу.

Представление о сложном строении атомных ядер естественно приводит к вопросу — почему атомные ядра ока-

---

*) Рисуя модель атома гелия, мы, конечно, не могли изобразить ядро и электроны в тех размерах и на таких взаимных расстояниях, какие имеют место в действительности. Если ядро атома гелия уподобить песчинке, то электроны будут вращаться примерно в 50 метрах от него. Ядро занимает в атоме такой же объём, как песчинка в 25-этажном здании.

зываются такими прочными? Ведь в их состав входят протоны, имеющие положительные заряды, а такие частицы, как известно, должны отталкивать друг друга тем сильнее, чем ближе они находятся. В ядрах же протоны сближены до чрезвычайно малых расстояний. Естественно, что каждый протон с огромной силой отталкивается остальными протонами ядра. Электрические силы отталкивания, действующие между протонами, стремятся разрушить ядро, выбросить из него все протоны.

Чем же объяснить необычайную прочность ядра?

В ядре действуют также особые силы притяжения — так называемые ядерные силы. Они заставляют все входящие в ядро частицы притягиваться друг к другу. Это притяжение очень велико. У большинства атомных ядер оно намного превосходит электрическое отталкивание протонов. Но за пределами ядра действие ядерных сил весьма быстро ослабевает.

6. «БЛИЗНЕЦЫ» В МИРЕ АТОМОВ

Для получения атомной энергии большое значение имело одно очень важное открытие. При изучении химических элементов учёные обнаружили, что многие элементы состоят из нескольких сортов атомов, имеющих одинаковые химические свойства, но различные атомные веса.

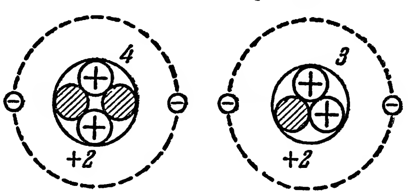


Рис. 2. Природные изотопы гелия.

Например, оказалось, что в природе существует два сорта атомов гелия: у одних атомный вес равен четырём, у других, более лёгких,— трём. Правда, доля лёгкого гелия чрезвычайно мала: на 1 000 000 атомов гелия с массой 4 приходится только 1 атом гелия с массой 3.

Чем же они отличаются друг от друга?

В ядре атома тяжёлого гелия находится четыре частицы — два протона и два нейтрона, а ядро лёгкого гелия содержит на один нейтрон меньше (рис. 2).

Мы уже знаем, что место химического элемента в периодической системе Менделеева определяется зарядом ядер его атомов. А эта величина у обоих сортов атомов гелия одинакова, она равна двум. Как атомы тяжёлого, так и атомы лёгкого гелия имеют по два протона в ядре и по два электрона в оболочке. Химические свойства этих элементов одинаковы. Поэтому их помещают в одной и той же (второй) клеточке периодической системы.

Такие атомы называют изотопами («изо» по-гречески — равный, «топос» — место). Изотопы — это различные сорта атомов одного и того же химического элемента, имеющие одинаковые химические свойства, но

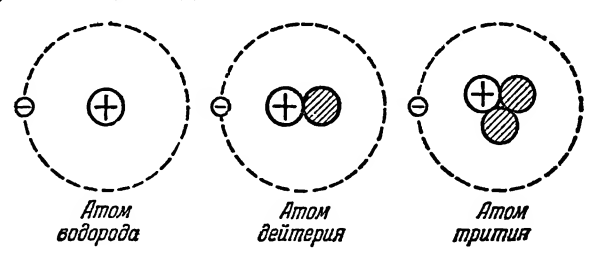


Рис. 3. Изотопы водорода.

разные атомные веса. Ядра атомов изотопов содержат одинаковое число протонов (одинаковый заряд), но разное число нейтронов; поэтому их массы оказываются различными. Изотопы найдены у большинства химических элементов. Например, олово имеет 10 изотопов, кадмий — 8, ртуть — 7, платина — 6. Самый лёгкий из всех элементов — водород, также имеет изотопы.

Природный водород в основном состоит из атомов с массой, равной единице. Ядром такого атома является протон; вокруг него обращается один электрон (рис. 3). Наряду с этим в природе существует и другой сорт атомов водорода, в два раза более тяжёлых. Ядра атомов тяжёлого водорода состоят из двух частиц — протона и нейтрона. Такой водород называют дейтерием. Количество его очень невелико: на 6000 атомов лёгкого водорода приходится обычно только 1 атом дейтерия.

Учёным удалось искусственным путём приготовить ещё один сорт атомов водорода — сверхтяжёлый водород, или тритий. В ядра атомов трития входят уже три частицы: протон и два нейтрона (см. рис. 3). Следовательно,

каждый атом трития в 3 раза тяжелее атома лёгкого водорода.

Дейтерий и тритий имеют большое значение для производства атомной энергии и создания атомного оружия. О том, как их используют, будет рассказано далее.

Основным источником атомной энергии является уран. Исследования показали, что природный уран имеет три изотопа, массы которых равны 238, 235 и 234. Основным в природном уране является наиболее тяжёлый изотоп — уран 238, доля урана 235 составляет $\frac{1}{140}$, а урана 234 — всего лишь около $\frac{1}{20\,000}$. Урана 234 так мало, что он практического значения не имеет.

7. КАК РАЗДЕЛЯЮТ ИЗОТОПЫ

Ядра атомов изотопов одного и того же элемента имеют разное число частиц и потому во многих отношениях отличны друг от друга. Для производства атомной энергии необходимо иметь ряд изотопов в совершенно чистом виде. К числу таких изотопов относятся уран 235, дейтерий, тритий и т. д. Как же разделяют изотопы?

Атомы разных элементов обладают различными химическими свойствами. Это и используют для отделения их друг от друга. Существует множество химических способов разделения атомов, пользуясь которыми, можно получить совершенно чистое, лишённое каких бы то ни было примесей, железо, цинк, олово, ртуть, свинец, серебро и другие элементы. Однако у изотопов химические свойства одинаковы. Поэтому для их разделения надо использовать те свойства, которые зависят от веса атомов. Имея разные веса, изотопы по-разному ведут себя в целом ряде физических процессов. Этим и пользуются для увеличения доли отдельных изотопов в смеси или для полного отделения изотопов друг от друга. Познакомимся с некоторыми из способов разделения изотопов.

При испарении жидкости, содержащей изотопы какого-нибудь элемента, изотопы меньшего веса будут переходить в пар несколько легче, чем более тяжёлые. Благодаря этому жидкость будет постепенно обогащаться тяжёлыми изотопами, а пар — лёгкими.

Для разделения изотопов, которые находятся в газообразном состоянии, можно использовать проникновение

газа через очень маленькие отверстия в особых пористых перегородках (такое явление называют диффузией газа). Лёгкий изотоп просачивается через такие отверстия несколько быстрее, чем тяжёлый. В результате по одну сторону перегородки оказывается небольшой избыток тяжёлого изотопа, а по другую — лёгкого.

Если заряженная частица попадает в постоянное однородное магнитное поле, то путь её искривляется и она начинает двигаться по окружности. Сила, с которой магнитное поле искривляет путь частицы (при прочих равных условиях), зависит от массы частицы. Чем меньше масса частицы, тем сильнее искривляется её путь и тем меньше оказывается окружность, по которой она движется. Поэтому частицы с одинаковыми зарядами, но разные по массе, будут в магнитном поле двигаться по разным путям. Это также используют для разделения изотопов.

Разница в массах изотопов, от которой зависит их разделение, имеет значительную величину только у самых лёгких элементов. Например, у тяжёлого и лёгкого водорода она составляет 100%. Однако у большинства изотопов она весьма невелика. Так, уже у изотопов углерода, имеющих массы 12 и 13, эта разница равна всего лишь 8,3%, а для урана 238 и 235 — 1,2%.

В большинстве способов разделение изотопов происходит не сразу, а постепенно. При однократном разделении наблюдается лишь частичное изменение доли изотопов в смеси. Если же необходимо добиться полного отделения изотопов друг от друга, то процесс разделения приходится повторять сотни и тысячи раз. Поэтому даже в тех случаях, когда различие в массах изотопов значительно, получение заметного количества чистого изотопа оказывается чрезвычайно трудным и очень продолжительным делом, требующим к тому же огромных расходов энергии *).

8. ТЯЖЁЛАЯ ВОДА И ЕЁ СВОЙСТВА

Мы уже знаем, что природный водород состоит из двух сортов атомов — лёгкого водорода и дейтерия. Водород входит в состав воды. Каждая молекула воды

*) Правда, в описанном выше методе разделения изотопов с помощью магнитного поля (так называемый электромагнитный метод разделения) изотопы сразу же отделяются друг от друга. Но таким способом можно разделять очень небольшие количества вещества.

содержит два атома водорода. Так как доля дейтерия в природном водороде невелика, то почти все молекулы воды содержат атомы лёгкого водорода. Но в природе есть и такие молекулы воды, у которых оба атома водорода оказываются тяжёлыми. У этих молекул масса на две единицы больше, чем у обычных молекул воды. Поэтому такую воду называют тяжёлой.

Тяжёлая вода находит большое применение в процессе производства атомной энергии. Она является одним из промежуточных продуктов при создании водородных бомб. Поэтому мы несколько подробнее остановимся на её свойствах и способе получения.

Во всех водоёмах земного шара есть небольшая примесь тяжёлой воды. Её доля составляет в среднем около 0,02%. Несмотря на это, удалось получить совершенно чистую тяжёлую воду в значительных количествах. Как это сделали?

Получение тяжёлой воды осуществляется следующим образом. Если через подкисленную природную воду пропустить электрический ток, то молекулы воды будут разлагаться на водород и кислород. Оба газа выделятся из воды в виде пузырьков. Лёгкая вода будет разлагаться электрическим током немного быстрее, чем тяжёлая. Поэтому, разлагая почти всё взятое количество воды, получают остаток, практически состоящий из чистой тяжёлой воды. Этот процесс связан с большими расходами электрической энергии.

Тяжёлая вода во многом отличается от обычной. Например, она замерзает не при нуле градусов, как обычная, а при 3,8° С, кипит не при 100, а при 101,4° С. В тяжёлой воде не прорастают семена, не могут жить растения и животные.

II. ЯДЕРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ

1. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

Люди давно мечтали найти способ изменять природу вещества, превращать одни элементы в другие. В истории науки известно немало неудачных попыток открыть секрет подобных превращений. На протяжении многих веков средневековые учёные алхимики упорно искали таинственный «философский камень», с помощью которого они надеялись превращать неблагородные ме-

таллы — ртуть и свинец — в благородные — золото и серебро. Алхимики открыли много новых веществ и способов их получения, но так и не сумели найти ключ к решению поставленной задачи.

Изменять природу атомов можно. Но для этого надо уметь воздействовать на их ядра. А у алхимиков никаких средств воздействия на атомные ядра не было. Поэтому все их попытки превращать элементы друг в друга были обречены на неудачу.

Только в XX веке люди научились вмешиваться во внутренний мир атомных ядер. Теперь в любой ядерной лаборатории можно изменять природу вещества, превращать одни атомы в другие.

Такие превращения называются *ядерными реакциями*. Они-то и являются источником атомной энергии.

При каких условиях происходят ядерные реакции и какие для этого нужны средства?

При химических реакциях происходит перегруппировка атомов, не сопровождающаяся изменением их природы. Атом углерода, соединившись с двумя атомами кислорода и образовав молекулу углекислого газа CO_2, не перестаёт быть атомом углерода. Если химическим путём произвести обратное превращение — выделить углерод из молекулы углекислого газа,— мы вновь получим такой же атом углерода.

При ядерных реакциях происходит глубокое изменение природы атома, коренная ломка его основных свойств. В результате таких реакций атомы углерода могут превратиться в атомы азота или кислорода.

На примере изотопов мы убедились в том, что вес ядра не определяет химических свойств атома. Эти свойства зависят только от величины заряда ядра и числа электронов в оболочке атома. Поэтому изменение химических свойств требует изменения заряда атомных ядер.

Разберём это подробнее на примере атома гелия. Попробуем сначала удалить из его ядра один протон (чёрная стрелка на рис. 4). При этом не только масса, но и заряд ядра уменьшатся на единицу и получится новое ядро с зарядом 1 и массой 3. Такое ядро оказывается уже ядром не гелия, а сверхтяжёлого водорода трития (см. рис. 3). Так как заряд у нового ядра равен единице, оно в состоянии удерживать только один электрон. Поэтому

как только протон будет удалён из ядра, один из электронов покинет атом (пунктирная стрелка на рис. 4), и в оболочке нового атома останется только один электрон. Один электрон содержит и атом трития.

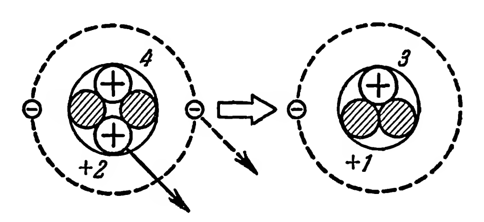


Рис. 4. Если из ядра гелия удалить один протон, атом гелия превращается в атом сверхтяжёлого водорода трития.

Следовательно, *при удалении протона из ядра гелия атом гелия превращается в атом водорода.*

Теперь посмотрим, что произойдёт с атомом гелия, если в его ядро добавить один протон. При этом заряд и масса ядра увеличатся на единицу и получится новое

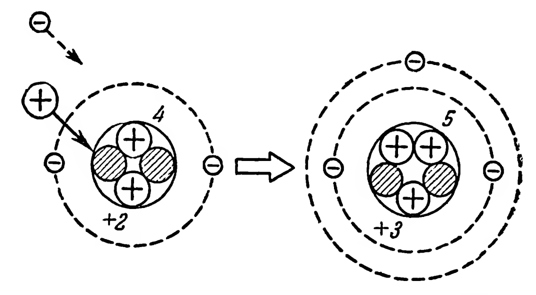


Рис. 5. Добавив протон в ядро гелия, мы превращаем атом гелия в атом лития.

ядро с зарядом 3 и массой 5 (рис. 5). Такое ядро в состоянии удерживать уже не 2, а 3 электрона в атоме. Поэтому один из свободных, не связанных с каким-либо атомом электронов, которые всегда имеются в веществе, будет захвачен новым атомом (пунктирная стрелка на рис. 5); число электронов в его оболочке станет равно трём. Так как электроны в атоме располагаются послойно и в первый, ближний к ядру слой может входить не больше двух

электронов, третий электрон располагается в новом, более удалённом от ядра слое.

Атом, имеющий 3 заряда в ядре и 3 электрона в оболочке, должен занимать в периодической системе Менделеева третью клетку. А в этой клетке находится литий.

Следовательно, *при добавлении протона в ядро гелия, атом гелия превращается в атом лития.*

Реакции, сопровождающиеся изменением числа протонов или нейтронов в ядре, называются ядерными реакциями.

В настоящее время можно осуществить и мечту алхимиков о превращении ртути в золото. В периодической системе элементов ртуть стоит на 80 месте, а золото — на 79. Следовательно, в каждом ядре ртути на один протон больше, чем в ядре золота. Достаточно удалить из ядра ртути один протон, чтобы получилось ядро золота. При этом электронная оболочка атома ртути потеряет один электрон и также превратится в оболочку атома золота.

Такие ядерные реакции учёные умеют осуществлять уже более 30 лет. Однако практическая ценность подобных превращений весьма невелика. Например, золото, которое можно получить из ртути таким путём, получается обычно в ничтожных количествах и оказывается значительно дороже природного золота.

Чтобы понять причину этого, надо познакомиться с тем, как производятся ядерные реакции.

2. КАК ОСУЩЕСТВИТЬ ЯДЕРНУЮ РЕАКЦИЮ

Для превращения гелия в литий надо в ядро каждого атома гелия добавить по одному протону. Но далеко не каждый протон пригоден для этой цели.

Чтобы проникнуть в ядро гелия и произвести ядерное превращение, протон должен двигаться со скоростью около 15 000 километров в секунду! При такой огромной скорости частица может облететь Землю по экватору менее чем за 3 секунды.

Почему протону необходима такая гигантская скорость, такая большая энергия?

Мы знаем, что протон, как и ядро гелия, заряжен положительным электричеством. А на частицы, заряженные одинаковым электричеством, действуют силы отталкива-

ния, которые тем больше, чем меньше расстояние между частицами. Чем ближе протон подходит к ядру, тем сильнее ядро его отталкивает. На преодоление этого отталкивания протон и затрачивает очень большую энергию. Таким образом, только очень быстрые протоны могут служить «снарядами», разрушающими атомные ядра.

Но даже и в том случае, когда обстрел ядер производится столь быстрыми протонами, далеко не каждый из них вызывает ядерную реакцию. Ведь для того чтобы произошла реакция, протон должен попасть в ядро, а ядра занимают чрезвычайно малый объём. Поэтому протоны сталкиваются с ядрами гелия крайне редко.

Значительно чаще протоны встречаются с электронами атомных оболочек. При этом происходит потеря небольшой доли энергии, которую протон передаёт электрону. Число электронов, встречающихся на пути протонов, велико. Поэтому, двигаясь в веществе, протоны быстро растрачивают свою энергию, тормозятся и застревают в нём, так и не произведя ядерной реакции. Только очень немногие из них сталкиваются с ядрами, имея энергию, достаточную для преодоления отталкивания ядер и проникновения в их недра.

Ядерные реакции могут производить не только протоны, но и ядра тяжёлого водорода, гелия и других лёгких элементов. Так как с увеличением заряда налетающей на ядро частицы увеличиваются и силы отталкивания ядром, то в производстве ядерных реакций до недавних пор пользовались только ядрами водорода и гелия.

Нейтроны также могут служить «ядерными снарядами». Проникая в ядра, они могут выбивать из них протоны, превращая один элемент в другой. Если же нейтрон просто застрянет в ядре, то и тогда число частиц в нём изменится — получится новый изотоп с массой, на единицу большей исходного.

У нейтронов есть существенное преимущество перед любыми заряженными частицами. Нейтрон лишён электрического заряда и поэтому не отталкивается ядром; он может приблизиться к нему, даже обладая очень небольшой скоростью. А очутившись вблизи ядра, нейтрон может быть втянут в него ядерными силами притяжения, и произойдёт ядерная реакция.

Однако в земных условиях нейтроны обычно заключены внутри атомных ядер. Поэтому, чтобы получить

нейтроны и обстрелять ими какие-нибудь ядра, необходимо предварительно выбить эти нейтроны из других атомных ядер. А для этого снова приходится использовать быстрые положительно заряженные частички. Таким образом, для осуществления ядерных реакций необходимы быстрые положительно заряженные «ядерные снаряды».

Оказывается, что некоторые из природных элементов сами непрерывно производят такие снаряды, уносящие часть энергии атомных ядер этих элементов. Что это за снаряды? Откуда они возникают и как их можно использовать для превращения ядер?

3. РАДИОАКТИВНОСТЬ

В 1896 году французский учёный Беккерель заметил, что уран испускает невидимые лучи, которые проходят сквозь чёрную бумагу, защищающую фотопластинку от света, и оставляют на пластинке отчётливый след. Изучение природы этих лучей привело к целому ряду замечательных открытий.

Оказалось, что атомные ядра урана, тория, радия и других тяжёлых элементов неустойчивы. Без всякого внешнего воздействия, под влиянием внутренних причин, они распадаются, меняют свою природу. При этом и происходит испускание открытых Беккерелем лучей. Атомы, способные к таким превращениям, были названы *радиоактивными*, а происходящие в них превращения получили название *радиоактивных превращений*.

Рассмотрим это явление на примере элемента радия. В атомных ядрах радия 226 частиц: 88 из них — протоны, остальные 138 — нейтроны. При радиоактивном превращении из ядра радия выбрасывается частица, состоящая из двух протонов и двух нейтронов. Её условились называть *альфа-частицей* («альфа» — первая буква греческого алфавита). Альфа-частица — это уже знакомое нам ядро атома гелия. Та часть ядра атома радия, которая остаётся после вылета альфа-частицы, оказывается ядром атома нового элемента радона с зарядом 86 и массой 222. В этом ядре как раз на два протона и два нейтрона меньше, чем в ядре радия.

Схема радиоактивного превращения радия в радон и гелий изображена на рис. 6.

Альфа-частицы выбрасываются и многими другими тяжёлыми ядрами, например, ядрами урана 238 и 235, тория 232, радона 222 и 220. Они вылетают из недр радиоактивных ядер с огромными скоростями (15 000 — 20 000 километров в секунду). Их-то и можно использовать в качестве «ядерных снарядов».

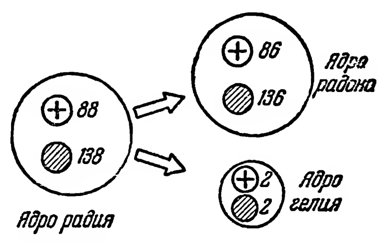


Рис. 6. Схема радиоактивного превращения радия 226.

Некоторые радиоактивные ядра, распадаясь, выбрасывают не альфа-частицу, а электрон (иначе называемый **бета-частицей**; «бета» — вторая буква греческого алфавита). При этом заряд остающегося ядра увеличивается на единицу, а масса почти не меняется. Примером такого распада может служить распад висмута 210 (рис. 7). В результате подобного радиоактивного превращения в ядре висмута становится одним нейтроном меньше, но зато число протонов увеличивается на единицу. При этом получается ядро элемента полония. Дело происходит так, как если бы один из нейтронов в ядре превратился в протон.

Рис. 7. Схема радиоактивного превращения висмута 210.

Утверждение о том, что из ядра висмута 210 вылетает электрон, может вызвать недоумение. Ведь в ядре электронов нет. Тем не менее здесь нет никакой ошибки. Дело в том, что нейтроны и протоны, из которых состоит ядро, могут при определённых условиях превращаться друг в друга. Превращение нейтрона в протон и приводит к появлению электрона:

$${}_{0}(\text{нейтрон})^{1} \longrightarrow {}_{+1}(\text{протон})^{1} + {}_{-1}(\text{электрон})^{0}\ ^{*}).$$

---

*) Слева внизу указаны заряды частиц, справа вверху — их массовые числа. Масса электрона очень мала по сравнению с массами протона и нейтрона. Поэтому мы считаем её равной нулю в этой условной записи.

Электроны, вылетающие из ядер висмута 210, актиния 227 и 228, протактиния 234 и других тяжёлых элементов, имеют скорости, сравнимые со скоростью света, которая равна 300 000 километров в секунду. Поэтому они могут проходить сквозь слой металла толщиной в несколько миллиметров.

В некоторых случаях радиоактивные превращения сопровождаются появлением чрезвычайно проникающего излучения—так называемых г а м м а - л у ч е й («гамма»— третья буква греческого алфавита). Гамма-лучи имеют такую же природу, как свет или радиоволны, но обладают значительно большей энергией. Это позволяет им проходить сквозь толстые слои вещества.

Лучшими поглотителями гамма-лучей являются свинец и висмут, но и в них эти лучи проникают на глубину более 10 сантиметров.

Радиоактивный распад происходит не сразу со всеми атомами, а постепенно. Каждую секунду распадается только некоторая доля атомов. Закон, по которому уменьшается количество радиоактивного вещества, очень прост: от любого количества данного радиоактивного вещества половина остаётся через одинаковое время. Время, в течение которого распадается половина имеющегося радиоактивного вещества, называют п е р и о д о м п о л у р а с п а д а (т. е. распада наполовину).

Период полураспада висмута 210 равен 5 дням. За это время как от 10, так и от 100 граммов висмута останется половина: 5 или 50 граммов. Ещё через 5 дней оставшееся количество висмута снова уменьшится наполовину и будет уже равно 2,5 или 25 граммам, и т. д.

Различные радиоактивные вещества имеют разные периоды полураспада. Например, уран 238 распадается наполовину только за 4,5 миллиарда лет. Если бы он распадался значительно быстрее, его не сохранилось бы на Земле. Период полураспада радия равен 1590 лет, а полония 212 — всего лишь 3 десятимиллионных доли секунды.

Несмотря на столь быстрый распад полония 212, он до сих пор встречается в природе. Запасы его непрерывно пополняются за счёт других элементов, распад которых приводит к образованию полония 212. У многих радиоактивных элементов ядра, остающиеся после распада, в свою очередь оказываются радиоактивными. Поэтому возни-

кает целая цепочка радиоактивных элементов, последовательно переходящих друг в друга. Этот процесс продолжается до тех пор, пока в результате очередного распада не появляется устойчивое нерадиоактивное ядро.

При радиоактивном распаде выделяется очень большая энергия, уносимая альфа- и бета-частицами и гамма-излучением. Энергия, выделяемая радиоактивными атомами, является *атомной энергией*. Она освобождается в результате процессов, которые происходят в атомных ядрах распадающихся элементов. Правда, у большинства радиоактивных веществ распад происходит крайне медленно и поэтому энергия, освобождаемая, например, в течение часа, оказывается сравнительно небольшой. Так, один грамм радия выделяет в течение часа всего 140 малых калорий теплоты. Таким количеством теплоты можно 140 граммов воды нагреть на 1° С. Но за это время распадается только 5 миллиардных долей грамма радия. Если же подсчитать всю теплоту, выделяемую при распаде одного грамма радия, то она составит около 3 000 000 000 малых калорий. Таким количеством теплоты можно нагреть 30 тонн воды от 0° до кипения. Для получения такого же количества теплоты необходимо сжечь 375 килограммов самого высококачественного угля. И всё это даёт только один грамм радия! Однако эта энергия освобождается крайне медленно, за несколько тысяч лет, и потому её очень трудно использовать для практических целей.

4. «ЯДЕРНАЯ АРТИЛЛЕРИЯ»

Атомные ядра тяжёлых радиоактивных элементов содержат большие запасы энергии, выделяемой при радиоактивном распаде. Не скрыта ли атомная энергия и в более лёгких, устойчивых ядрах, и нельзя ли её освободить? Нельзя ли также ускорить радиоактивный распад, чтобы быстрее освобождать атомную энергию и сделать её доступной для практического использования?

Для решения таких задач надо уметь воздействовать на атомные ядра. Сделать это можно с помощью быстрых «ядерных снарядов». Впервые такими снарядами послужили альфа-частицы, испускаемые природными радиоактивными элементами. Пользуясь ими, удалось разрушить ядра многих лёгких элементов. Однако сила, с которой ядро отталкивает налетающую альфа-частицу, быстро

возрастает с увеличением заряда ядра. Поэтому для расщепления ядер элементов, стоящих в периодической системе Менделеева дальше калия (№ 19), энергии природных альфа-частиц оказалось недостаточно. Кроме того, относительно небольшое количество альфа-частиц, испускаемых радиоактивными источниками, не позволяет осуществить большое число ядерных превращений.

Всё это заставило учёных искать другие пути получения достаточно большого количества быстрых «ядерных снарядов». Поиски этих путей привели к созданию «ядерной артиллерии».

Современная «ядерная артиллерия» имеет «орудия» различных типов. Одним из наиболее распространённых типов «ядерных пушек» являются циклотроны. С их помощью удаётся получить альфа-частицы, энергия которых в несколько раз больше, чем у альфа-частиц радиоактивных элементов, а также весьма быстрые протоны. Количество «ядерных снарядов», получаемых в циклотронах, в тысячи раз больше, чем у природных источников.

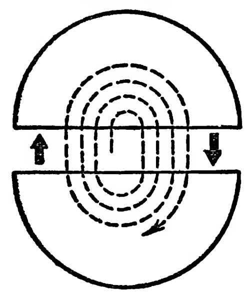


Рис. 8. Движение протона в циклотроне. Пунктирная спираль — путь протона. Стрелками показано направление действия ускоряющей электрической силы. Магнитное поле направлено от читателя за книгу.

Для получения протонов достаточно обстрелять водород быстрыми электронами. Протон является ядром атома лёгкого водорода. В состав такого атома входит всего один электрон. Столкнувшись с этим электроном, быстрый электрон выбивает его из атома. Таким путём получается большое количество свободных протонов. Но энергия их невелика.

В циклотроне протоны, двигаясь по спирали, много раз проходят через ускоряющий промежуток между двумя половинками круглой металлической коробки (рис. 8). Там они ускоряются электрическими силами. Искривление пути протонов достигается с помощью постоянного магнитного поля, пронизывающего весь объём коробки. Проходя ускоряющий промежуток, протоны каждый раз приобретают добавочную энергию. Таким путём можно сообщить им огромную скорость.

В циклотроне можно получать и другие «ядерные снаряды» — ядра тяжёлого водорода и гелия.

«Ядерные пушки» — очень сложные устройства. Одна только деталь циклотрона средних размеров — магнит — весит несколько сот тонн. А вес магнита одного из больших циклотронов достигает 4000 тонн.

В настоящее время, на основе идей, развитых советским физиком В. И. Векслером, строятся сверхмощные «ядерные пушки». Они будут давать «ядерные снаряды» с энергией в сотни и тысячи раз большей, чем у самых быстрых альфа-частиц от радиоактивных источников. Такие снаряды смогут полностью разрушать атомные ядра — выбивать все входящие в ядро частицы. Одна из этих пушек, названная космотроном, недавно вступила в строй в Брукхавенской научной лаборатории в США.

«Ядерные пушки» позволяют осуществлять разнообразные ядерные реакции с любым элементом периодической системы. Но прежде чем познакомиться с этими реакциями, посмотрим ещё, как обнаруживают атомные ядра и происходящие в них изменения.

5. КАК «ВИДЯТ» АТОМНЫЕ ЯДРА

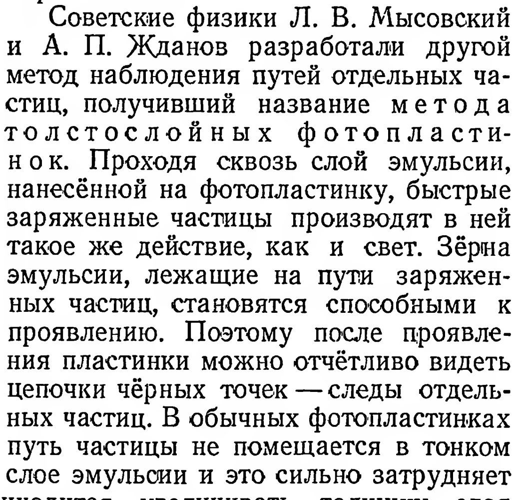
Атомные ядра так малы, что кажется совершенно невозможным проследить за отдельным ядром. Тем не менее существует несколько способов, позволяющих обнаруживать отдельные ядра и другие мельчайшие частицы вещества.

Быстрая заряженная частица, двигаясь в каком-нибудь веществе, например, в воздухе или воде, разрушает встречные атомы, выбивая из них электроны. Атом, потерявший электрон, оказывается заряженным положительно. Такую частицу называют ионом. На пути быстрой частицы возникает большое число ионов. Это обстоятельство и позволяет увидеть путь летящей частицы.

Известно, что при охлаждении водяного пара образуются капельки воды. Таким путём происходит, например, образование тумана. Однако капельки появляются лишь в том случае, если в пространстве, где находится пар, имеются пылинки, частицы дыма или другие частицы, вокруг которых и происходит образование капель. В отсутствии таких частиц капельки не возникают и пары воды остаются прозрачными, невидимыми. Водяные капли

образуются и на ионах. Когда в пространство, занятое охлаждённым водяным паром, попадает быстрая заряженная частица, она создаёт на своём пути цепочку ионов. Каждый ион становится центром небольшой капельки. Поэтому след частицы будет отчётливо обозначен цепочкой водяных капель. Если число ионов, создаваемых частицей, велико, капельки сливаются в один чёткий след частицы. На использовании этого процесса основано наблюдение и фотографирование путей отдельных заряженных частиц с помощью камеры Вильсона.

В камере Вильсона периодически создаются именно такие условия, поэтому она позволяет получать прекрасные снимки путей различных частиц. По этим снимкам можно определять природу частиц, измерять их энергию и следить за происходящими в камере ядерными процессами.



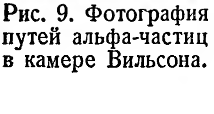


Рис. 9. Фотография путей альфа-частиц в камере Вильсона.

На рис. 9 приведён фотоснимок путей нескольких альфа-частиц в камере Вильсона.

Советские физики Л. В. Мысовский и А. П. Жданов разработали другой метод наблюдения путей отдельных частиц, получивший название метода толстослойных фотопластинок. Проходя сквозь слой эмульсии, нанесённой на фотопластинку, быстрые заряженные частицы производят в ней такое же действие, как и свет. Зёрна эмульсии, лежащие на пути заряженных частиц, становятся способными к проявлению. Поэтому после проявления пластинки можно отчётливо видеть цепочки чёрных точек — следы отдельных частиц. В обычных фотопластинках путь частицы не помещается в тонком слое эмульсии и это сильно затрудняет исследования. Приходится увеличивать толщину слоя эмульсии. Так как следы частиц имеют небольшую длину (несколько десятков микрон *)), то наблюдение их производится с помощью микроскопа.

*) Микрон — одна тысячная доля миллиметра.

На рис. 10 показаны следы двух альфа-частиц в фотографической эмульсии.

Метод толстослойных фотопластинок особенно удобен для изучения чрезвычайно редких явлений при ядерных реакциях. Камера Вильсона позволяет видеть следы частиц только за время около $^1/_{10}$ секунды. Чтобы сфотографировать в ней редкое событие, приходится делать десятки тысяч снимков. А фотопластинка может «выжидать» такое событие в течение многих часов.



Рис. 10. Следы альфа-частиц в фотографической эмульсии.

Существуют приборы, позволяющие считать быстрые заряженные частицы. Наиболее распространённым из них является с ч ё т ч и к Г е й г е р а - М ю л л е р а; схема его показана на рис. 11. Основной частью счётчика служит тонкостенный металлический цилиндр *A*, внутри которого находится тонкая металлическая нить *C*. Нить отделена от цилиндра изолирующими пробками *D*. Цилиндр соединён с отрицательным, а нить — с положительным полюсом электрической батареи, дающей постоянное высокое напряжение.

Так как нить нигде не соприкасается с цилиндром, а заключённый в нём газ состоит из нейтральных атомов и не проводит электрического тока, электрическая цепь

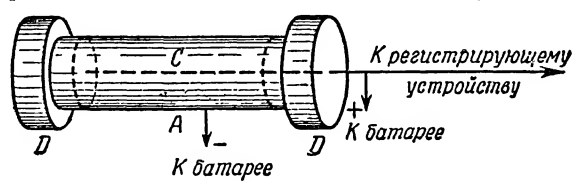


Рис. 11. Схема счётчика Гейгера-Мюллера.

разорвана и ток по ней не течёт. Но вот внутрь цилиндра проникает быстрая заряженная частица и выбивает электроны у ряда атомов. Эти электроны притягиваются положительно заряженной нитью. Пройдя небольшую часть пути по направлению к нити, электроны под влиянием

электрической силы разгонятся настолько, что могут выбивать новые электроны из встретившихся им атомов газа. Возникающие при этом электроны также движутся к нити и выбивают новые электроны. Таким путём небольшое число первичных электронов, созданных быстрой заряженной частицей, умножается в миллионы раз, и до нити доходит огромное количество электронов. В этот момент происходит как бы замыкание электрической цепи и по ней на мгновение проходит электрический ток. Этот ток усиливается специальным радиотехническим устройством и отмечается регистрирующим прибором — слышен короткий щелчок. Так как процесс «размножения» электронов в счётчике занимает ничтожную долю секунды, то за секунду счётчик может отметить большое число проходящих через него частиц.

С помощью камеры Вильсона, толстослойных фотопластинок и счётчиков Гейгера-Мюллера, а также ряда других приборов и методов учёные успешно изучают сложнейшие процессы, протекающие в мире атомов и атомных ядер.

6. ПРИМЕРЫ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Познакомимся теперь поближе с несколькими ядерными реакциями.

Для сокращённой записи ядерных реакций условились заряд ядра указывать перед химическим значком каждого из атомов, участвующих в реакции, а массовое число — после него. В этих обозначениях реакция превращения гелия в литий, о которой мы говорили выше, записывается так:

$$_2He^4 + {}_1H^1 \rightarrow {}_3Li^5.$$

гелий протон литий

Нейтроны тоже могут проникать в атомные ядра и застревать в них. Так происходит, например, превращение лёгкого водорода в тяжёлый:

$$_1H^1 + {}_0n^1 \rightarrow {}_1H^2.$$

лёгкий водород нейтрон тяжёлый водород

Во многих случаях ядро, которое образуется в результате реакции, мгновенно выбрасывает какую-нибудь из входящих в него частиц. Такая картина наблюдается, на-

пример, при получении трития из лития 6:

$$_3Li^6 + {}_0n^1 \rightarrow {}_3Li^7 \rightarrow {}_1H^3 + {}_2He^4 .$$

литий нейтрон литий тритий альфа-частица

Ядро изотопа литий 6, поглотив нейтрон, превращается в ядро изотопа литий 7, но это ядро тут же выбрасывает альфа-частицу, превращаясь в ядро трития.

Превращение ртути в золото, о котором рассказывалось выше, может быть осуществлено несколькими путями. Один из них таков:

$$_{80}Hg^{198} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{80}Hg^{199} \rightarrow {}_{79}Au^{198} + {}_1H^1.$$

ртуть нейтрон ртуть золото протон

В этой реакции нейтрон выбивает из ядра ртути один протон, и атом ртути превращается в атом золота.

При ядерных реакциях строго сохраняются заряды и массовые числа участвующих в реакции ядер. Поэтому суммы зарядов и массовых чисел в левой и правой частях реакции всегда равны.

В рассмотренных реакциях заряд ядра меняется не больше, чем на две единицы. Пользуясь такими ядерными реакциями, можно исходный элемент превратить в элемент, отстоящий от исходного только на одну или две клеточки в периодической системе Менделеева.

В настоящее время известно несколько тысяч подобных реакций. Среди них особенный интерес представляют реакции, которые приводят к образованию искусственно радиоактивных ядер. Такие ядра в большом количестве возникают и при освобождении атомной энергии.

7. ИСКУССТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

В 1934 году французские учёные Фредерик и Ирэн Жолио-Кюри открыли замечательное явление. Бомбардируя алюминий альфа-частицами, они впервые получили искусственный радиоактивный элемент.

При обстреле алюминия альфа-частицами происходит следующая ядерная реакция:

$$_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \rightarrow {}_{15}P^{30} + {}_0n^1.$$

алюминий альфа-частица фосфор нейтрон

Природный фосфор состоит из атомов, масса которых равна 31. А в этой реакции получаются атомы фосфора

с массой 30. Такие атомы неустойчивы и постепенно превращаются в устойчивые атомы кремния 30, одного из трёх изотопов природного кремния. При этом ядра атомов фосфора 30 выбрасывают частицы, масса которых в точности равна массе электронов, но заряд не отрицателен, а положителен. Такие частицы называют позитронами.

Позитрон, как и электрон, не содержится в ядре. Он возникает в результате превращения одного из заключённых в ядре протонов в нейтрон:

$$_{+1}(\text{протон})^1 \longrightarrow {}_0(\text{нейтрон})^1 + {}_{+1}(\text{позитрон})^0.$$

Реакция, при которой образуется фосфор 30, протекает практически мгновенно. Превращение же фосфора 30 в кремний происходит медленно, продолжаясь и после прекращения обстрела алюминия альфа-частицами. Уменьшение числа атомов фосфора 30 (а следовательно, и числа испускаемых позитронов) подчиняется такому же закону, как и уменьшение радия: от любого количества фосфора 30 половина остаётся через один и тот же промежуток времени. Для фосфора 30 этот промежуток времени (период полураспада) равен 2,5 минуты. Поэтому такой фосфор и был назван радиоактивным фосфором или радиофосфором.

В настоящее время радиоактивные изотопы получены у каждого элемента. Общее число их примерно вдвое больше числа устойчивых изотопов, встречающихся в природе. «Ядерная артиллерия» позволяет получать большинство известных радиоактивных изотопов. Однако количество получаемого таким путём радиоактивного вещества измеряется обычно миллионными долями грамма, к тому же стоимость его оказывается весьма высокой.

8. ЭНЕРГИЯ АТОМНЫХ ЯДЕР

Атомные ядра чрезвычайно прочны. Протоны и нейтроны удерживаются в ядре могучими ядерными силами притяжения. Чтобы вырвать из ядра протон или нейтрон, надо израсходовать значительную энергию. Только быстрые «ядерные снаряды» могут производить такие реакции.

Особенно много энергии понадобилось бы для полного разрушения атомных ядер. Энергия, которую надо затра-

тить для освобождения из ядра всех заключённых в нём протонов и нейтронов, называется энергией связи ядра.

Ядро тяжёлого водорода состоит из протона и нейтрона. Энергия, необходимая для отрыва их друг от друга, примерно в 500 000 раз больше энергии, освобождаемой при горении угля *). Для разделения альфа-частицы на протоны и нейтроны понадобилось бы ещё в 14 раз бо́льшая энергия. Таковы энергии связи ядра тяжёлого водорода и альфа-частицы.

Если отделение ядерных частиц друг от друга требует большой затраты энергии, то соединение их сопровождается освобождением энергии. По закону сохранения энергии расход энергии на разделение частиц должен равняться выделению энергии, когда те же частицы вновь соединятся. Следовательно, соединение протона и нейтрона в ядро тяжёлого водорода или двух протонов и двух нейтронов в ядро гелия (альфа-частицу) освобождает энергию, равную энергии связи.

Может возникнуть естественный вопрос. Соединение протона и нейтрона в ядро тяжёлого водорода происходит под действием ядерных сил, притягивающих эти частицы друг к другу. Никакие другие силы на протон и нейтрон не действуют, а сближение притягивающихся тел сопровождается, как мы уже знаем, выделением энергии. Но в случае ядра гелия нам приходится соединять два протона, а с уменьшением расстояния между ними они будут отталкивать друг друга всё сильнее и сильнее. Чтобы преодолеть это отталкивание и соединить протоны в ядро, надо затратить немалую энергию. Почему же образование ядра гелия и других более тяжёлых ядер из протонов и нейтронов приводит к освобождению огромной энергии?

Действительно, соединение протонов в ядра требует первоначального расхода энергии. Поэтому только быстрые протоны могут преодолеть взаимное отталкивание и приблизиться друг к другу на малые расстояния. Но, сблизившись, протоны станут уже притягиваться друг к другу: на близких расстояниях вступают в действие

*) Сравнивая энергию, освобождаемую или поглощаемую различными путями, мы всегда будем рассчитывать её на одну частицу, участвующую в реакции. При ядерных реакциях такой частицей является исходное ядро. При горении угля — один атом углерода.

могучие ядерные силы. А эти силы значительно превосходят силы электрического отталкивания. Поэтому при дальнейшем сближении протонов энергии освободится значительно больше, чем было израсходовано на их первоначальное сближение. Таким образом, для соединения нескольких протонов и нейтронов в ядра надо сначала затратить энергию; зато при дальнейшем их сближении освобождается энергия, значительно превосходящая произведённый расход.

Казалось бы, что этот путь вполне пригоден для получения атомной энергии в практических целях. Надо только взять много нейтронов и протонов и соединить их в ядра тяжёлого водорода. При образовании одного грамма тяжёлого водорода можно было бы получить столько же тепла, сколько его выделяется при сгорании 2750 килограммов лучшего угля.

Однако мы уже знаем, что нейтроны заключены в недрах атомных ядер. Чтобы выбить их оттуда в достаточном количестве, необходимо обстрелять атомы «ядерными снарядами». В самом лучшем случае на тысячу «снарядов» освобождается всего один нейтрон. Поэтому энергия, расходуемая на добывание нейтронов, оказывается значительно больше той энергии, которую можно получить с их помощью.

При определении энергии связи различных ядер учёные используют закон взаимосвязи массы и энергии. В природе существует неразрывная связь между массой и энергией, выражаемая следующим законом:

$$\text{Масса} = \frac{\text{энергия}}{\text{скорость света} \times \text{скорость света}}.$$

Согласно закону взаимосвязи массы и энергии, каждое изменение энергии сопровождается соответствующим изменением массы. Например, при нагревании воды должен увеличиваться не только запас теплоты, но и масса нагреваемой воды. Почему же мы обычно не замечаем изменения массы? Дело в том, что энергия, с которой нам обычно приходится сталкиваться, связана с ничтожной массой. Например, нагревая 1 литр воды на 100 градусов, мы увеличиваем её массу всего на 5 миллиардных долей грамма.

Заметить изменение массы можно только при больших количествах энергии. Например, масса излучения,

испускаемого Солнцем в течение года, равна 1 220 000 000 тонн! Эта величина составляет всего одну стомиллиардную долю массы Солнца.

Энергия, с которой мы сталкиваемся в мире атомных ядер, чрезвычайно велика. Поэтому здесь приходится учитывать закон взаимосвязи массы и энергии.

При образовании ядра из протонов и нейтронов освобождается атомная энергия. При этом уносится некоторая доля массы частиц, из которых создаётся ядро. Поэтому масса ядра всегда оказывается меньше суммы масс частиц, из которых оно образовалось. Но для того, чтобы обнаружить эту разницу, надо измерять массы ядер с очень большой точностью *). Например, масса ядра гелия на 0,0176 единицы атомного веса меньше суммы масс двух протонов и двух нейтронов. Хотя эта величина и очень мала **), связанная с ней энергия почти в 7 000 000 раз больше энергии, освобождаемой атомом при химических реакциях.

Определив, насколько масса ядра меньше суммы масс входящих в него частиц, находят уменьшение массы при образовании такого ядра. Пользуясь законом взаимосвязи массы и энергии, определяют величину энергии, которая связана с этой массой. Энергия, освобождаемая при образовании ядра из протонов и нейтронов, равна энергии связи.

Таков путь, который позволил учёным измерить энергию связи всех известных нам ядер.

Закон взаимосвязи массы и энергии играет важную роль в современной науке. Поэтому многие буржуазные учёные пытаются использовать его для «опровержения» основных положений диалектического материализма. Извращая подлинное научное содержание этого закона, они утверждают, что из него следует возможность превращения материи в энергию и энергии в материю. Значит, говорят они, материя способна исчезать, она не вечна.

---

*) В настоящее время учёные умеют измерять массы атомов и атомных ядер с точностью до стотысячных, а иногда и миллионных долей единицы атомного веса. Масса протона, измеренная с такой точностью, равна 1,007573, а масса нейтрона — 1,008941. При подсчётах энергии пользуются именно такими значениями масс, а не округлёнными до целых чисел величинами — массовыми числами.

**) Если эту величину выразить в граммах, то она будет равна $\frac{3}{100\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000}$ доли грамма!

В действительности закон взаимосвязи массы и энергии не даёт никаких оснований для подобных антинаучных утверждений. Как и все открытые наукой законы природы, он находится в строгом согласии с основными положениями диалектического материализма, убедительно подтверждает правильность этих положений. Диалектический материализм утверждает, что между материей и движением существует неразрывная связь, считает массу и энергию количественными характеристиками материи. Поэтому ни о каком превращении материи в энергию, характеризующую лишь одно из свойств материи — её движение,— не может быть и речи. О том же говорит и закон взаимосвязи массы и энергии. Этот закон показывает, что в природе нет и не может быть «чистой» энергии, оторванной от массы; всякая энергия имеет свой материальный носитель. Точно так же нет и не может быть «мёртвой», «абсолютно покоящейся» материи, лишённой всех видов движения (а значит и связанной с ними энергии), а вся материя находится в состоянии вечного неуничтожимого движения и изменения.

Знание энергии связи различных ядер позволяет определять, какие из них пригодны для получения атомной энергии.

Посмотрим, как это может быть сделано на примере превращения лития в гелий.

9. ОСВОБОЖДЕНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ОБЫЧНЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ

Атомная энергия освобождается не только при соединении протонов и нейтронов в ядра, но и при разрушении некоторых ядер путём ядерных реакций. На первый взгляд это может показаться непонятным. Ведь для осуществления такой реакции необходим быстрый «ядерный снаряд», получение которого связано с затратой энергии. Однако при некоторых ядерных реакциях освобождается больше энергии, чем расходуется на осуществление самой реакции. Это происходит в тех случаях, когда энергия связи у образующихся ядер оказывается больше, чем у исходных, т. е. когда в результате реакции получаются более прочные ядра. Примером реакции, идущей с освобождением энергии, может служить расщепление лития протонами.

Если ядра атомов лития с зарядом 3 и массой 7 обстрелять протонами, то при этом образуются ядра атомов бериллия (заряд 4, масса 8), которые тотчас же распадаются на две альфа-частицы:

$$ {}_3Li^7 + {}_1H^1 \rightarrow {}_4Be^8 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4. $$

литий протон бериллий альфа-частица альфа-частица

Полученные альфа-частицы с большой скоростью разлетаются в противоположные стороны. Фотография подобного расщепления ядер атомов лития в камере Вильсона показана на рис. 12.

Энергия альфа-частиц более чем в 20 раз превосходит энергию бомбардирующих протонов. Происхождение

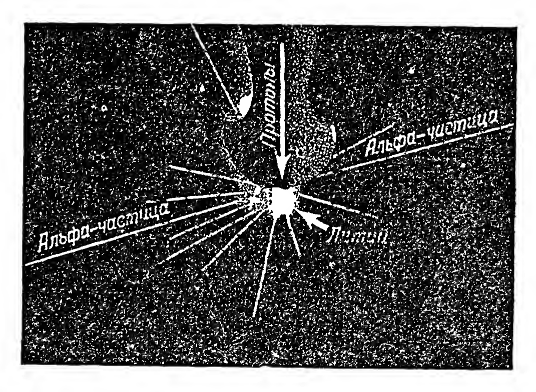


Рис. 12. Расщепление ядра лития 7 протоном (снимок в камере Вильсона).

этой энергии нетрудно понять, если подсчитать энергии связи ядер до и после реакции.

Энергия связи у двух альфа-частиц примерно в 1,5 раза больше, чем у ядра лития 7. Следовательно, энергия, выделяемая при образовании двух альфа-частиц из протонов и нейтронов, в 1,5 раза больше, чем при образовании ядра лития. Этот избыток энергии и освобождается в момент превращения лития в гелий; одновременно уносится некоторая доля массы исходных частиц.

Энергия, освобождаемая в этой реакции и уносимая альфа-частицами, очень велика. Она в 4 250 000 раз больше энергии, выделяемой при сжигании угля. Если один грамм лития целиком превратить в альфа-частицы,

то при этом выделится такое количество теплоты, какое получается при сжигании 7,3 тонны высококачественного угля.

Однако и этот способ получения атомной энергии лишён практического значения. При каждом расщеплении ядра лития освобождается энергия, примерно в 20 раз бо́льшая, чем энергия бомбардирующего протона. Но число таких расщеплений крайне мало. Только один из 10 000 000 протонов вызывает реакцию. Поэтому энергия, затрачиваемая на создание протонов, в 500 000 раз больше освобождаемой энергии.

III. ПОЛУЧЕНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

1. ДЕЛЕНИЕ АТОМНЫХ ЯДЕР

Путь к получению практически необходимого количества атомной энергии был найден в 1939 году. Обстреливая ядра атомов урана нейтронами, учёные после нескольких лет упорного труда обнаружили новый тип ядерных реакций.

В реакциях, с которыми мы познакомились выше, бомбардирующий нейтрон либо просто застревает в ядре, либо выбивает из ядра какую-нибудь частицу (рис. 13).

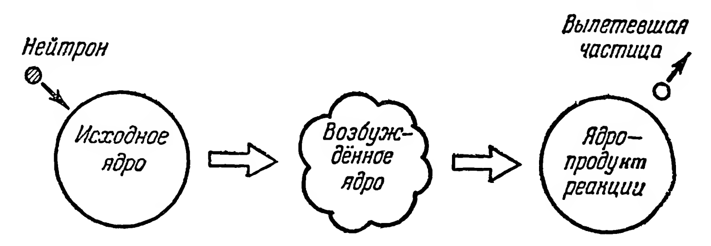


Рис. 13. Схема обычной ядерной реакции.

В такой реакции основная масса ядра по существу почти не участвует: в ядро проникает одна частица и выбивает из ядра другую частицу.

В уране нейтроны могут вызывать совершенно иные ядерные реакции. Проникнув в ядро урана и передав ему свою энергию, нейтрон приводит ядро в возбуждённое состояние. Вслед за тем ядро расщепляется на две части.

Происходит деление образовавшегося после поглощения нейтрона ядра на два тяжёлых осколка (рис. 14).

В ядре урана так много протонов, что их взаимное отталкивание с трудом преодолевается притяжением со стороны ядерных сил. Даже небольшой энергии нейтрона оказывается достаточно для разрушения всего ядра.

В открытии деления ядер урана большую роль сыграли работы итальянского физика Ферми, немецких фи-

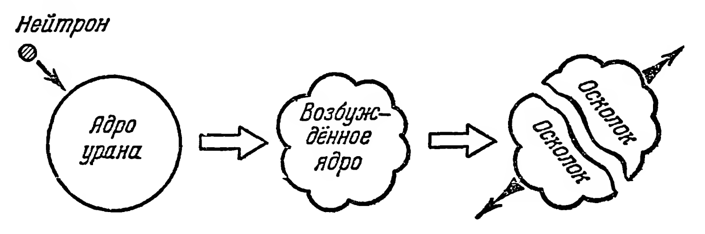
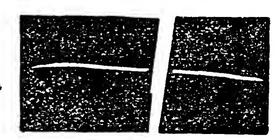


Рис. 14. Схема деления ядра урана.

зиков Гана, Штрассмана и Мейтнер, французских физиков Фредерика и Ирэн Жолио-Кюри.

Теорию деления атомных ядер впервые создал советский учёный Я. И. Френкель.

Чаще всего деление ядер урана происходит на неравные осколки. Однако бывает и так, что оба осколка оказываются одинаковыми. Рассмотрим именно такой случай. В ядре урана 92 протона. В момент деления в каждом из осколков оказывается по 46 протонов. Теперь они уже не являются частью единого ядра. Оба осколка имеют по большому числу положительных зарядов, а расстояние между ними чрезвычайно мало. Поэтому каждый из осколков с огромной силой отталкивает другой осколок, и они разлетаются в противоположных направлениях со скоростями 3—4 тысячи километров в секунду. Двигаясь в окружающем веществе, осколки взаимодействуют с его атомами и передают им свою энергию, пока совсем не застрянут в нём. Энергия, которую получают атомы, превращается в теплоту, например нагревает кусок урана или воздух, в котором двигались осколки.


Рис. 15. Деление ядра урана (снимок в камере Вильсона).

На рис. 15 показан снимок деления ядра урана в камере Вильсона. В камере помещена тонкая плёнка, на поверхность которой нанесён уран (плёнка расположена поперёк рисунка). При обстреле нейтронами, следы которых в камере не видны, одно из ядер урана разделилось. На снимке отчётливо видны следы осколков, вылетевших в противоположных направлениях.

При делении ядра урана освобождается энергия, в десятки раз бо́льшая, чем при радиоактивном распаде или других уже известных нам ядерных реакциях, и в десятки миллионов раз бо́льшая, чем при химических реакциях.

Освобождаемую энергию можно подсчитать и другим путём — с помощью энергии связи. Энергия связи у обоих осколков значительно больше, чем у ядра урана. Этот избыток энергии и освобождается в момент деления ядра. По закону взаимосвязи массы и энергии освобождение энергии должно сопровождаться уменьшением массы. И действительно, определив массу продуктов деления, можно убедиться в том, что она меньше массы исходного ядра урана как раз на величину, которая должна быть связана с освобождаемой при делении энергией.

Каждый из осколков является ядром атома нового элемента. Например, осколки с зарядом 46 оказываются ядрами палладия, который находится в 46 клетке периодической системы Менделеева. В момент деления возникают ядра бария (№ 56) и криптона (№ 36), лантана (№ 57) и брома (№ 35), и т. д. Так как в большинстве случаев деление происходит на неравные осколки, то при этом появляются ядра всех элементов, входящих в середину периодической системы.

Ядра-осколки, возникающие при делении урана, содержат по нескольку лишних нейтронов, и вот почему. В тяжёлых ядрах значительно больше нейтронов, чем протонов. Например, в ядре урана 235 на 92 протона приходится 143 нейтрона. В устойчивых ядрах более лёгких элементов разница между числом протонов и нейтронов не так велика. Наиболее тяжёлый изотоп брома имеет 35 протонов и 46 нейтронов в ядре. Наиболее тяжёлый изотоп лантана содержит 57 протонов и 82 нейтрона в ядре. Сумма нейтронов в самых тяжёлых устойчивых ядрах лантана и брома равна 128. Поэтому ядра-осколки, возникающие при делении урана 235 на лантан и бром, содержат 143 — 128 = 15 лишних нейтронов.

Два или три из этих лишних нейтронов освобождаются непосредственно в момент деления. Но и после этого избыток нейтронов в ядрах-осколках оказывается значительным.

Такие ядра неустойчивы. Они освобождаются от избытка нейтронов двумя путями. Часть лишних нейтронов может быть просто выброшена из ядер-осколков уже после того, как процесс деления закончился. Однако число таких нейтронов сравнительно невелико. В большинстве же случаев лишние нейтроны превращаются в ядрах-осколках в протоны. При этом, как мы знаем, происходит испускание электронов. Каждый осколок испускает по нескольку электронов, пока не превратится в устойчивое ядро нового элемента. Например, ядро брома, образовавшееся в результате деления, может последовательно испытать через разные промежутки времени три таких превращения:

$$\underset{\text{бром (ядро-осколок)}}{{}_{35}Br^{87}} \longrightarrow \underset{\text{криптон}}{{}_{36}Kr^{87}} + \underset{\text{электрон}}{{}_{-1}e^{0}} \longrightarrow \underset{\text{рубидий}}{{}_{37}Rb^{87}} + \underset{\text{электрон}}{{}_{-1}e^{0}} \longrightarrow \underset{\text{стронций}}{{}_{38}Sr^{87}} + \underset{\text{электрон}}{{}_{-1}e^{0}}.$$

Полученное в результате этой цепочки превращений ядро стронция оказывается устойчивым.

Помимо электронов при таких превращениях испускаются также и гамма-лучи. Следовательно, ядра-осколки радиоактивны.

2. ЦЕПНОЙ ПРОЦЕСС ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР

Может показаться, что открытие деления ядер урана не решает задачи практического получения атомной энергии. Правда, энергия, освобождаемая при делении, в десятки раз превышает энергию, освобождаемую в обычных ядерных реакциях. Но попрежнему для получения значительного количества атомной энергии, пригодного для практических целей, необходимо разделить очень большое число ядер. А для этого надо иметь такое же количество ядерных снарядов-нейтронов, получение которых связано с ещё бóльшими расходами энергии.

Рассказывая о делении ядер урана, мы уже упоминали о возникновении новых нейтронов в самом ходе деления. Оказывается, что из большого числа нейтронов, которые

находятся в ядре урана, 2 или 3 обычно не успевают в момент деления присоединиться к какому-нибудь из осколков и, подобно маленьким брызгам, разлетающимся во все стороны при дроблении водяной капли, вылетают одновременно с осколками. Эти нейтроны движутся со скоростью 10—15 тысяч километров в секунду. Таким образом, взамен одного нейтрона, вызвавшего деление ядра, в результате деления появляются 2 или 3 новых нейтрона, которые движутся в уране с большой скоростью.

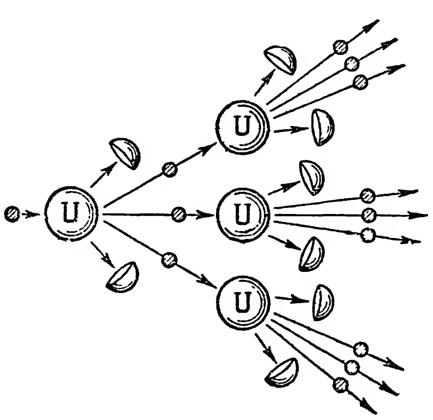


Рис. 16. Цепная реакция деления ядер урана.

Каждый такой нейтрон, встретив на своём пути новое ядро урана, может его разделить. И опять при каждом делении будут освобождаться новые нейтроны, способные делить ядра урана. Получается такая картина: один нейтрон разделил ядро урана и при этом возникло 3 новых нейтрона. Каждый из них снова разделит по ядру и появится 9 новых нейтронов (рис. 16). Разделив 9 новых ядер, они создадут 27 нейтронов и т. д. Количество нейтронов, а вместе с ним и число делящихся ядер, будет лавинообразно нарастать. Так в горах случайно сдвинутый с места камень, падая, увлекает за собой всё новые и новые камни, образующие в конце концов огромный обвал.

В старинной индусской легенде рассказывается о том, как раджа *), проиграв партию в шахматы, должен был уплатить, кладя на первую клетку шахматной доски 2 зерна, на вторую 4, на третью 8 и на каждую следующую клетку — в 2 раза больше. При этом оказалось, что ещё задолго до последней 64 клетки у него нехватило зёрен, собранных со всего княжества.

При делении ядер урана количество делящихся ядер увеличивается каждый раз не в 2, а в 3 раза, т. е. растёт

*) Властитель княжества в Индии.

ещё быстрее, чем число зёрен на шахматной доске. Такой процесс деления ядер называется цепным процессом, потому что за первым делением, вызываемым одним нейтроном, возникает целая цепь последующих делений.

Чтобы зажечь нефть или керосин и выделить большое количество теплоты, достаточно поднести к ним ничтожное количество теплоты, заключённое в горящей спичке. А затем начинается цепная реакция горения, продолжающаяся до тех пор, пока есть горючее.

Чтобы разделить атомные ядра, заключённые в куске урана, необходимо обстрелять этот кусок только одним нейтроном. Нейтрон в этом случае играет роль зажжённой спички.

Так как нейтроны, возникающие при делении ядер урана, движутся с очень большими скоростями, они быстро производят новые деления. В таком цепном процессе кусок урана весом около килограмма может полностью разделиться за миллионную долю секунды. Огромная энергия, освобождаемая при делении столь большого количества ядер в такое короткое время, приводит к мощному взрыву.

Таким образом в отличие от всех предыдущих случаев ядерных превращений деление ядер урана освобождает неизмеримо больше энергии, чем затрачивается на создание цепного процесса. Ведь его может вызвать один единственный нейтрон!

И даже этот нейтрон не надо добывать каким-то специальным образом. Советские физики Г. Н. Флёров и К. А. Петржак показали, что ядра урана сами собой, без всякого обстрела нейтронами, делятся на осколки. При каждом делении появляются 2—3 свободных нейтрона.

Такое деление имеет много сходного с радиоактивным распадом природных элементов. Мы уже знаем, что уран радиоактивен и распадается, испуская альфа-частицы. Этот процесс происходит очень медленно. Период полураспада урана 238 равен 4,5 миллиарда лет. Но помимо распада, сопровождаемого испусканием альфа-частиц, ядра урана могут делиться на осколки, только процесс самопроизвольного деления урановых ядер протекает примерно в миллион раз медленнее (период полураспада 10 000 000 миллиардов лет).

Тем не менее ввиду огромного количества ядер урана, заключённых в куске весом в 1 килограмм, в нём

ежесекундно происходит примерно 5 самопроизвольных делений. В результате появляется 10—15 свободных нейтронов, способных производить дальнейшее деление ядер урана.

3. АТОМНЫЙ ВЗРЫВ

Многие урановые месторождения содержат богатые запасы урана. Почему же он не взорвался, а до сих пор хранится в земле, и есть ли опасность подобного взрыва?

Вспомним, что природный уран состоит главным образом из урана 238 и лишь $^1/_{140}$ доля его приходится на уран 235. Поведение этих двух сортов атомов урана при обстреле их нейтронами весьма различно. Ядра атомов урана 238 делятся только очень быстрыми нейтронами, обладающими значительной энергией. Ядра атомов урана 235 делятся не только быстрыми, но и сколь угодно медленными нейтронами, и тем лучше, чем меньше скорость налетающих на них нейтронов *). Нейтроны, возникающие в результате самопроизвольного деления в природном уране, оказываются обычно не в состоянии разделить ядра урана 238. Поглощение нейтронов ядрами урана 238 не приводит к делению. Поэтому «ядерным горючим», пригодным для создания цепной реакции, является только уран 235. Встреча же нейтронов с ядрами урана 235 происходит чрезвычайно редко, вследствие чего в природном уране при обычных условиях цепной процесс не возникает. Таким образом, природный уран, в основном состоящий из урана 238, не является ядерным горючим и никакой опасности взрыва не представляет.

Для создания атомных бомб, способных производить атомные взрывы, необходимо получать значительные количества чистого урана 235, отделяя его от урана 238. Различие в массах урана 238 и 235 невелико (около 1%). Поэтому разделение изотопов урана оказывается исключительно сложной и дорогой операцией.

Посмотрим теперь, как устроена атомная бомба.

Если взять кусочек урана 235 весом в 1 грамм — это будет кубик с ребром в 3,7 миллиметра,— то такой кусочек никогда не взорвётся. Почему? Допустим, что в центре

---

*) Медленный нейтрон находится вблизи ядра значительно большее время, чем быстрый. Поэтому с уменьшением скорости нейтрона увеличивается вероятность того, что он будет захвачен ядром урана 235.

кусочка урана произошёл самопроизвольный распад одного ядра урана и возникли 3 быстрых нейтрона. Двигаясь в небольшой толще урана, они обычно не встречают на своём пути новых ядер, а вылетают за пределы уранового кубика. Поэтому в таком кусочке урана 235 цепной процесс развиться не может.

Для того чтобы произвести взрыв, надо иметь значительно больше чистого урана 235. Количество урана 235, в котором цепной процесс деления атомных ядер приводит к взрыву, обычно называют «критической массой». Если масса имеющегося куска урана 235 меньше критической, взрыва никогда не будет. Если же масса куска равна критической или больше её — взрыв происходит немедленно. Критическая масса урана 235 составляет около одного килограмма.

Количество урана, необходимое для атомного взрыва, можно уменьшить, заставив часть уходящих из него нейтронов вернуться обратно в уран. Этого можно добиться, окружая кусок урана слоем лёгкого металла бериллия. Сталкиваясь с ядрами бериллия, нейтроны в большинстве случаев отскакивают от них и возвращаются в уран.

Для того, чтобы бомба взрывалась в нужный момент времени, в неё закладывают не один, а два куска урана 235. Масса каждого из них несколько меньше критической. До тех пор, пока оба куска отделены друг от друга, никакой опасности взрыва нет. Чтобы произвести взрыв, надо очень быстро соединить оба куска урана в один. При этом получится кусок с массой, большей критической, и тотчас же произойдёт взрыв.

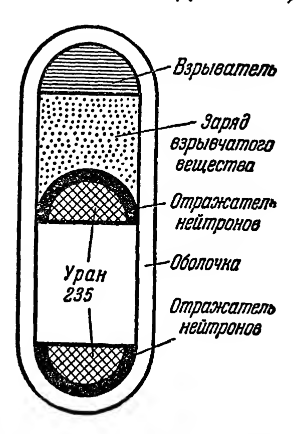


Рис. 17. Схема атомной бомбы.

На рис. 17 показана примерная схема атомной бомбы. Бомба представляет собой металлический сосуд с очень прочной оболочкой. В нижней её части находится один кусок урана 235, в верхней — другой. Каждый из кусков урана 235 заключён в специальную оболочку из бериллия, которая препятствует вылету нейтронов из урана и отражает их обратно в глубь куска. Это позволяет

полнее использовать нейтроны, возникающие в процессе деления. Для быстрого соединения обоих кусков в верхней части бомбы расположен заряд обычного взрывчатого вещества (тротила) и установлен специальный взрыватель. В нужный момент времени взрыватель поджигает тротиловый заряд. Происходит выстрел одним куском урана по другому — сила взрыва заряда давит на верхний кусок урана, заставляя его мгновенно соединиться с нижним. Тотчас же возникает атомный взрыв.

4. ПОСЛЕДСТВИЯ АТОМНОГО ВЗРЫВА

Атомные взрывчатые вещества имеют мощность в миллионы раз бо́льшую, чем у обычных взрывчатых веществ. При взрыве атомной бомбы, в непосредственной близости от места взрыва, возникают чрезвычайно высокая температура, мощная ударная (взрывная) волна и огромное количество радиоактивных ядер.

Температура воздуха вблизи взрыва мгновенно возрастает до десятков миллионов градусов. Поэтому взрыв сопровождается ослепительной вспышкой света, которая видна на расстоянии до нескольких сот километров. На месте взрыва появляется огненный шар, который постепенно вытягивается в многоцветный столб раскалённых газов, поднимающийся на высоту в 10—15 километров и рассеивающийся в атмосфере. В этом столбе уносится значительная доля нагретых до высокой температуры продуктов взрыва. Поэтому температура на поверхности Земли очень быстро падает. Мощное, но кратковременное воздействие тепла производит разрушения и пожары на расстоянии около километра от места взрыва.

В момент взрыва атомной бомбы в воздухе и земле создаётся сильное уплотнение — ударная волна. Распространяясь во все стороны, она разрушает здания и сооружения, встречающиеся на её пути. Однако расстояние, на котором эти разрушения значительны, не превосходит нескольких сот метров. Движение ударной волны сопровождает звук, подобный раскатам грома, который слышен на десятки километров в окружности.

При атомном взрыве появляется множество ядер-осколков, нейтронов и гамма-лучей. Осколки застревают в поверхностном слое почвы в зоне взрыва. Нейтроны и гамма-лучи проходят на некоторую глубину и создают на

своём пути много искусственно радиоактивных веществ. Под действием радиоактивных продуктов взрыва незащищённые люди получают радиоактивные ожоги; кроме того, действие радиоактивных излучений вызывает нарушение ряда жизненно важных функций организма. Но даже вблизи от места взрыва радиоактивность опасна в течение сравнительно небольшого промежутка времени.

Разрушительные последствия атомного взрыва могут быть значительно ослаблены, если приняты меры по противоатомной защите. Так, например, слой бетона толщиной около полуметра или земли — около полутора метров, защищает людей не только от воздействия высокой температуры, но и от радиоактивных излучений. Правильно построенные убежища позволяют сохранить людей даже вблизи атомного взрыва.

Первые атомные бомбы были созданы в США и применены против японских городов Хиросима и Нагасаки. Они были сброшены на Японию без всякой военной необходимости. Стремясь использовать атомное оружие для шантажа и запугивания миролюбивых народов, американские империалисты старались уничтожить как можно больше мирных жителей. С этой же целью они чрезвычайно преувеличили последствия атомных взрывов. В действительности количество жертв и разрушения оказались значительно меньше тех, о которых сообщала американская печать.

Атомные бомбы являются оружием большой разрушительной силы. Однако применение атомных бомб ни в коем случае не предрешает исхода войны, который попрежнему определяется целым рядом экономических, политических, военных и прочих факторов.

Советский Союз уже давно уничтожил американскую атомную монополию и имеет в своём распоряжении атомное оружие различных типов и калибров.

5. НЕПТУНИЙ И ПЛУТОНИЙ

Атомная энергия может быть получена и другим путём, значительно более дешёвым и пригодным для мирных промышленных целей. При этом наряду с ураном 235 важную роль играет основной природный уран с массой 238.

Ядра урана 238 сильно поглощают очень медленные нейтроны. Однако это поглощение не сопровождается делением ядер урана 238, а приводит к очень интересной ядерной реакции.

Ядро урана с массой 238 и зарядом 92, поглотив нейтрон, превращается в ядро урана с массой 239. Уран 239 оказывается радиоактивным. Распадаясь с периодом полураспада 23 минуты, он испускает электроны. При испускании электрона заряд ядра увеличивается на единицу, а масса практически не изменяется. Следовательно, ядра урана превращаются в ядра с зарядом 93 и массой 239.

Но и эти ядра также оказываются неустойчивыми. Они вновь испускают электроны с периодом полураспада 2,4 дня. При этом возникают ядра с зарядом 94 и массой, попрежнему равной 239.

Долгое время последним элементом в периодической системе считали уран. Однако оказалось, что поглощение медленных нейтронов ядрами урана 238 приводит к возникновению совершенно новых элементов, которые должны стоять на 93 и 94 местах периодической системы Менделеева. Эти элементы назвали нептунием и плутонием в соответствии с именами планет (Нептун и Плутон), расположенных за планетой Уран, которую долго считали последней в солнечной системе.

Реакция образования нептуния и плутония такова:

$$\underset{\text{уран}}{{}_{92}U^{238}} + \underset{\text{нейтрон}}{{}_{0}n^{1}} \rightarrow \underset{\text{уран}}{{}_{92}U^{239}} \rightarrow \underset{\text{нептуний}}{{}_{93}Np^{239}} + \underset{\text{электрон}}{{}_{-1}e^{0}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \underset{\text{плутоний}}{{}_{94}Pu^{239}} + \underset{\text{электрон}}{{}_{-1}e^{0}} .$$

Плутоний 239 радиоактивен. Испуская альфа-частицы, он превращается в уран 235:

$$\underset{\text{плутоний}}{{}_{94}Pu^{239}} \rightarrow \underset{\text{уран}}{{}_{92}U^{235}} + \underset{\text{альфа-частица}}{{}_{2}He^{4}} .$$

Распад плутония происходит очень медленно. Период полураспада составляет 24 000 лет.

Ядра плутония 239 делятся не только очень быстрыми, но и более медленными нейтронами и притом тем лучше, чем меньше энергия нейтронов. Поэтому плутоний 239 также может служить ядерным горючим и использоваться для создания атомных бомб.

Так как плутоний и уран занимают разные места в периодической системе элементов Менделеева, то их химические свойства несколько отличаются. Благодаря этому отделять плутоний от урана можно с помощью химических реакций, что значительно проще, чем отделять уран 235 от урана 238.

Ядерные реакции позволили получить ещё четыре новых «заурановых» элемента: америций (№ 95), кюрий (№ 96), берклий (№ 97) и калифорний (№ 98).

6. АТОМНЫЕ КОТЛЫ

Плутоний получают в **атомных реакторах**, или **атомных котлах**. В них, как и в бомбе, происходит цепной процесс деления ядер урана 235. Однако благодаря специально принятым мерам, цепной процесс в котле протекает значительно медленнее, чем в бомбе. Поэтому им можно управлять, то-есть ускорять или замедлять, останавливать и вновь пускать в ход.

Преимуществом котлов является то, что в них цепной процесс происходит в обычном природном уране, очищенном от всяких примесей. Французский учёный Ф. Жолио-Кюри и советские учёные Я. Б. Зельдович и Ю. Б. Харитон показали, что цепной процесс может при известных условиях протекать и в неразделённом природном уране. Для этого надо, чтобы деление ядер урана 235 производили чрезвычайно медленные нейтроны, которые наиболее эффективно действуют на эти ядра. Ядер урана 235 в природном уране значительно меньше, чем ядер урана 238. Но уран 235 поглощает очень медленные нейтроны значительно сильнее, чем уран 238. Это и позволяет осуществлять цепной процесс в природном уране.

Так как цепной процесс в котле происходит на медленных нейтронах, скорость которых во много раз меньше, чем у нейтронов, взрывающих атомную бомбу, то такой цепной процесс протекает значительно медленнее и теряет характер взрыва.

Рассмотрим судьбу массивного куска урана, внесённого внутрь атомного котла. Поскольку никакого предварительного разделения изотопов урана не производилось, в состав куска входят и уран 238 и уран 235. Медленные нейтроны могут делить только ядра урана 235. Поэтому именно он и является рабочим веществом, ведущим

цепную реакцию в котле. Ядра урана 235 делятся, а вместо них внутри куска появляются радиоактивные осколки — ядра более лёгких элементов. Их обычно называют «радиоактивным шлаком».

Часть нейтронов, освобождаемых при делении, попадает в новые ядра урана 235 и продолжает цепной процесс. Некоторая доля нейтронов вылетает за пределы котла и не принимает участие в цепной реакции. Остальные нейтроны поглощаются ураном 238, превращая его в плутоний. Плутоний также накапливается внутри куска урана. Таким образом, в куске урана, внесённом в котёл, происходит постепенное исчезновение урана 235 и 238 и накопление радиоактивного. шлака и плутония. Куски урана периодически извлекают из котла и с помощью химических реакций отделяют от него образовавшийся плутоний и радиоактивный шлак.

При делении ядер урана возникают быстрые нейтроны. В котле же необходимы нейтроны медленные. Для замедления быстрых нейтронов, освобождаемых при делении, в котёл вводят специальные вещества, замедляющие нейтроны. Эти вещества называют з а м е д л и т е л я м и. Сталкиваясь с ядрами атомов замедлителя, нейтроны быстро теряют свою энергию. После двух-трёх десятков столкновений у них остаётся примерно миллионная доля первоначальной энергии.

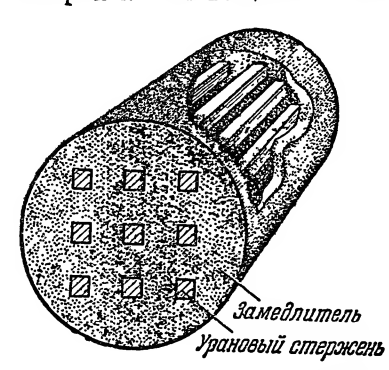


Рис. 18. Центральная часть атомного котла с замедлителем из графита.

Наилучшим замедлителем является тяжёлая вода. Входящие в состав неё ядра тяжёлого водорода быстро отбирают энергию у нейтронов и к тому же почти не поглощают их. Но получение значительных количеств чистой тяжёлой воды сопряжено с очень большими расходами. Поэтому часто для замедления нейтронов используют другое вещество — графит. Графит — это кристаллический углерод, весьма распространённый в природе. Например, из него делают грифели для простых карандашей.

Центральная часть атомного котла обычно состоит из стержней урана, опущенных в бак с тяжёлой водой или окружённых со всех сторон графитом (рис. 18). Чтобы предохранить уран от загрязнения и окисления, его помещают в алюминиевые чехлы. Быстрые нейтроны, освобождаемые при делении ядер урана 235, попадают в замедлитель, теряют в столкновениях с его ядрами почти всю энергию и возвращаются в какой-нибудь из брусков урана уже медленными. На рис. 19 показана примерная судьба трёх нейтронов, возникающих при делении ядра урана 235. Выйдя из урана в замедлитель, каждый нейтрон испытывает по нескольку упругих столкновений с ядрами атомов замедлителя и теряет при этом энергию. Один из медленных нейтронов (крайний слева) проникает затем в урановый брусок и вызывает новое деление ядра урана 235. Другой нейтрон (средний) поглощается ураном 238 и приводит к возникновению плутония. Третий (крайний справа) нейтрон уходит за пределы котла.

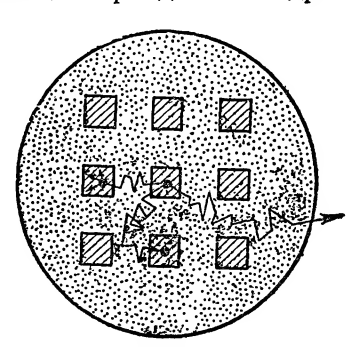


Рис. 19. Пути нейтронов в атомном котле.

Для управления цепной реакцией внутрь котла вводят стержни из кадмия или бористой стали. Кадмий и бор сильно поглощают медленные нейтроны. Когда такие стержни находятся внутри котла, они «съедают» большое число нейтронов, и цепной процесс прекращается. Чтобы ввести котёл в действие, надо медленно выдвигать из него эти стержни до тех пор, пока размещённые в разных частях котла контрольные приборы, измеряющие количество образующихся нейтронов, не укажут на начало цепной реакции. Меняя положение стержней в котле, можно ускорять или замедлять происходящую реакцию.

Котёл, как и бомба, имеет критическую массу. Цепная реакция начинается в нём только при наличии определённого количества урана. Критическая масса природного урана в котле равна нескольким тоннам. Чтобы уменьшить её, котёл окружают специальной оболочкой, которая отражает значительную часть уходящих из котла нейтронов обратно в котёл.

При работе котла возникают те же радиоактивные излучения, что и при взрыве атомной бомбы. Особенно серьёзную опасность для людей, которые работают вблизи котла, представляют нейтроны и гамма-лучи, в огромных количествах вырабатываемые котлом. Они способны проходить сквозь большие слои вещества. Поэтому приходится замуровывать котлы в защитную оболочку толщиной в несколько метров. Обычно в состав оболочки входят

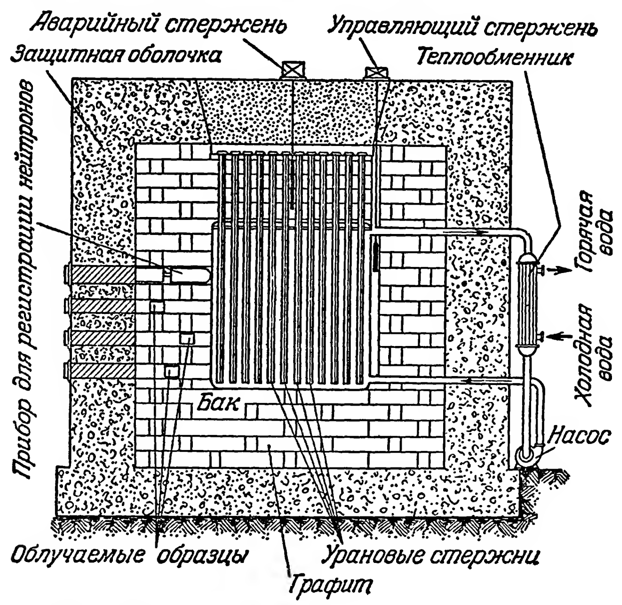


Рис. 20. Схема французского атомного котла, построенного Ф. Жолио-Кюри.

бетон, кадмий или бористая сталь и свинец. Толстый слой бетона замедляет нейтроны и поглощает часть из них. Кадмий или бор «съедают» остальные медленные нейтроны, а свинец поглощает гамма-лучи. Если мощность котла невелика, защитная оболочка может целиком состоять из бетона.

Размеры и вес атомных котлов весьма значительны. Например, один из описанных в литературе котлов имеет форму куба, стороны которого равны 11 метрам. Из них 5 метров приходится на долю защитной оболочки. Такой котёл весит несколько тысяч тонн.

Деление ядер урана освобождает большое количество атомной энергии, которая, нагревая котёл до весьма высоких температур, может в короткий срок вывести его из строя. Поэтому необходимо интенсивное охлаждение котла. Если замедлителем является тяжёлая вода, то обычно часть её перекачивают с помощью насоса через теплообменник. Там она отдаёт своё тепло обыкновенной воде, превращая её в пар с высокой температурой. Охлаждённая тяжёлая вода возвращается обратно в котёл, а

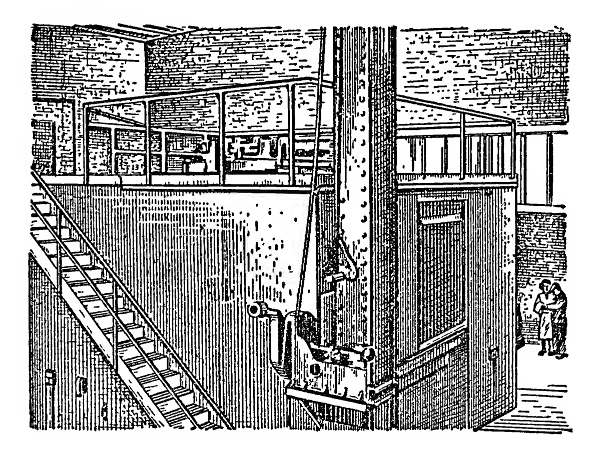


Рис. 21. Общий вид французского атомного котла.

полученный пар может быть использован для практических целей.

Если замедлителем служит графит, то охлаждение котла производится путём пропускания через него специальных охлаждающих веществ (газов или жидкостей).

На рис. 20 показано устройство котла на тяжёлой воде, построенного в 1948 году во Франции под руководством Ф. Жолио-Кюри. В центре котла расположен бак с тяжёлой водой, в которую опущены урановые стержни. Над баком висит аварийный стержень из кадмия, предназначенный для быстрой остановки котла. Справа имеется другой (управляющий) кадмиевый стержень; перемещая его вдоль стенки бака, можно изменять скорость цепной реакции в котле. Уран и бак со всех сторон окружены толстым слоем графита, отражающим нейтроны обратно в бак. Снаружи котёл заключён в толстую защитную обо-

лочку из бетона, в которой слева проделано несколько каналов. В одном из них находится прибор, регистрирующий количество нейтронов и определяющий таким путём интенсивность цепной реакции. Остальные каналы используются для облучения вылетающими из котла нейтронами различных веществ, которые при этом становятся радиоактивными. Справа показана система охлаждения

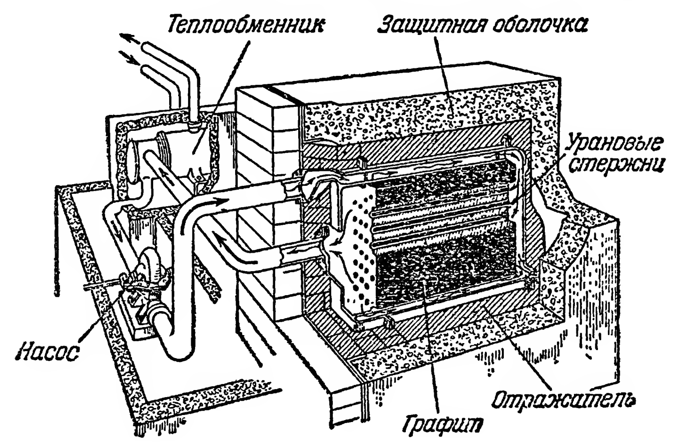


Рис. 22. Схема атомного котла с замедлителем из графита.

котла — насос и теплообменник. На рис. 21 изображён общий вид этого котла. На рис. 22 приведена схема котла, в котором замедлителем служит графит.

7. ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА

Солнце является неисчерпаемым источником энергии. Многие миллиарды лет оно испускает огромное количество тепла и света. Для создания такого же количества энергии, какое испускает Солнце, понадобилось бы 180 000 000 миллиардов электростанций, обладающих мощностью Куйбышевской ГЭС.

Основным источником энергии Солнца служат ядерные реакции. Какие же реакции там происходят? Может быть, Солнце — это гигантский атомный котёл, сжигающий огромные запасы урана или тория?

Солнце состоит главным образом из лёгких элементов — водорода, гелия, углерода, азота и т. д. Около по-

ловины его массы составляет водород. Количество урана и тория на Солнце очень невелико. Поэтому они не могут быть основными источниками солнечной энергии.

В недрах Солнца, где происходят ядерные реакции, температура достигает примерно 20 миллионов градусов. Заключённое там вещество находится под огромным давлением в сотни миллионов тонн на каждый квадратный сантиметр и чрезвычайно уплотнено. При таких условиях могут происходить ядерные реакции иного типа, которые приводят не к делению тяжёлых ядер на более лёгкие, а наоборот — к образованию более тяжёлых ядер из более лёгких.

Мы уже видели, что соединение протона и нейтрона в ядро тяжёлого водорода или двух протонов и двух нейтронов в ядро гелия сопровождается освобождением большого количества энергии. Однако трудность получения необходимого количества нейтронов лишает этот способ освобождения атомной энергии практической ценности.

Более тяжёлые ядра можно создавать и с помощью одних протонов. Например, соединив друг с другом два протона, мы получим ядро тяжёлого водорода, так как один из двух протонов тотчас же превратится в нейтрон.

Соединение протонов в более тяжёлые ядра происходит под действием ядерных сил. При этом освобождается очень большая энергия. Но при сближении протонов быстро возрастает электрическое отталкивание между ними. Медленные протоны не могут преодолеть этого отталкивания и подойти друг к другу на достаточно близкое расстояние. Поэтому такие реакции производятся только очень быстрыми протонами, имеющими запас энергии, достаточный для преодоления действия электрических сил отталкивания.

При царящей в недрах Солнца чрезвычайно высокой температуре атомы водорода теряют свои электроны. Некоторая доля ядер этих атомов (протонов) приобретает скорости, достаточные для образования более тяжёлых ядер. Так как количество таких протонов в глубине Солнца весьма велико, то и количество создаваемых ими более тяжёлых ядер оказывается значительным. При этом освобождается очень большая энергия.

Ядерные реакции, идущие при очень высоких температурах, называются *термоядерными*. Примером термоядерной реакции может служить образование ядер

тяжёлого водорода из двух протонов. Оно происходит следующим путём:

$$\underset{\text{протон}}{{}_1H^1} + \underset{\text{протон}}{{}_1H^1} \longrightarrow \underset{\text{тяжёлый водород}}{{}_1H^2} + \underset{\text{позитрон}}{{}_{+1}e^0} .$$

Освобождаемая при этом энергия почти в 500 000 раз больше, чем при горении угля.

Необходимо отметить, что и при столь высокой температуре далеко не каждое столкновение протонов друг с другом приводит к образованию ядер тяжёлого водорода. Поэтому протоны расходуются постепенно, что и обеспечивает выделение ядерной энергии на протяжении сотен миллиардов лет.

Солнечная энергия, повидимому, получается с помощью другой ядерной реакции — превращения водорода в гелий. Если четыре ядра водорода (протона) соединить в одно более тяжёлое ядро, то это и будет ядро гелия, так как два из этих четырёх протонов превратятся в нейтроны. Такая реакция имеет следующий вид:

$$\underset{\text{водород}}{4\,{}_1H^1} \longrightarrow \underset{\text{гелий}}{{}_2He^4} + \underset{\text{позитроны}}{2\,{}_{+1}e^0} .$$

Образование гелия из водорода происходит на Солнце несколько более сложным путём, который, однако, приводит к такому же результату. Происходящие при этом реакции изображены на рис. 23.

Сначала один протон соединяется с ядром углерода ${}_6C^{12}$, образуя неустойчивый изотоп азота ${}_7N^{13}$. Эта реакция сопровождается освобождением некоторого количества ядерной энергии, уносимой гамма-излучением. Образовавшийся азот ${}_7N^{13}$ вскоре превращается в устойчивый изотоп углерода ${}_6C^{13}$. При этом испускается позитрон, обладающий значительной энергией. Через некоторое время к ядру ${}_6C^{13}$ присоединяется новый (второй) протон, в результате чего возникает устойчивый изотоп азота ${}_7N^{14}$, а часть энергии снова освобождается в виде гамма-излучения. Третий протон, присоединившись к ядру ${}_7N^{14}$, образует ядро неустойчивого изотопа кислорода ${}_8O^{15}$. Эта реакция также сопровождается испусканием гамма-лучей. Образовавшийся изотоп ${}_8O^{15}$ выбрасывает позитрон и превращается в устойчивый изотоп азота ${}_7N^{15}$. Присоединение четвёртого протона к этому ядру приводит к возникновению ядра ${}_8O^{16}$, которое рас-

падается на два новых ядра: ядро углерода $_6C^{12}$ и ядро гелия $_2He^4$.

В результате этой цепочки следующих друг за другом ядерных реакций вновь образуется исходное ядро углерода $_6C^{12}$, а *вместо четырёх ядер водорода (протонов) появляется ядро гелия.* На осуществление этого цикла реакций уходит около 5 миллионов лет. Восстановленное

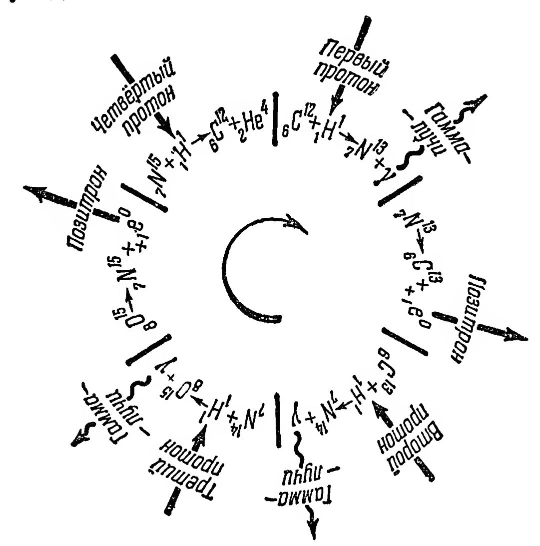


Рис. 23. Превращение водорода в гелий на Солнце.

ядро $_6C^{12}$ может снова начать такой же цикл. Освобождаемая энергия, уносимая гамма-излучением и позитронами, и обеспечивает излучение Солнца.

Повидимому, таким же путём получают огромную энергию и некоторые другие звёзды. Однако многое в этом сложном вопросе ещё остаётся нерешённым.

8. ВОДОРОДНАЯ БОМБА

Соединение протонов в ядра дейтерия и гелия происходит очень медленно даже при температуре в 20 миллионов градусов. Поэтому звезды испускают тепло и свет на протяжении многих миллиардов лет. Существуют, однако, и такие термоядерные реакции, которые при тех

же условиях протекают значительно быстрее. Так, реакция

$$ {}_1H^2 + {}_1H^1 \longrightarrow {}_2He^3 $$

дейтерий лёгкий водород лёгкий гелий

может при наличии большого количества водорода закончиться в несколько секунд, а реакция —

$$ {}_1H^3 + {}_1H^1 \longrightarrow {}_2He^4 $$

тритий лёгкий водород гелий

— в десятые доли секунды.

Быстрое соединение лёгких ядер в более тяжёлые, происходящее при термоядерных реакциях, позволило создать новый вид атомного оружия — водородную бомбу. Одним из возможных путей создания водородной бомбы является термоядерная реакция между тяжёлым и сверхтяжёлым водородом:

$$ {}_1H^2 + {}_1H^3 \longrightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1 . $$

дейтерий тритий гелий нейтрон

Энергия, освобождаемая при этой реакции, примерно в 10 раз больше, чем при делении ядер урана или плутония.

Чтобы начать эту реакцию, надо нагреть дейтерий и тритий до очень высокой температуры. Такую температуру в настоящее время можно получить только при атомном взрыве.

Водородная бомба имеет прочную металлическую оболочку, размеры которой больше размеров атомных бомб. Внутри неё находится обычная атомная бомба на уране или плутонии, а также дейтерий и тритий. Для взрыва водородной бомбы надо сначала взорвать атомную бомбу. Атомный взрыв создаёт большую температуру и давление, при которых заключённый в бомбе водород начнёт превращаться в гелий. Освобождаемая при этом энергия поддерживает высокую температуру, необходимую для дальнейшего протекания реакции. Поэтому превращение водорода в гелий будет продолжаться до тех пор, пока либо не «сгорит» весь водород, либо не разрушится оболочка бомбы. Атомный взрыв как бы «поджигает» водородную бомбу, а она своим действием значительно усиливает мощность атомного взрыва.

Взрыв водородной бомбы сопровождается теми же последствиями, что и атомный взрыв — возникновением высокой температуры, ударной волны и радиоактивных продуктов. Однако мощность водородных бомб во много раз больше мощности урановых и плутониевых бомб.

Атомные бомбы имеют критическую массу. Увеличивая количество ядерного горючего в такой бомбе, мы не сумеем полностью его разделить. Значительная часть урана или плутония обычно разбрасывается в зоне взрыва в неразделённом виде. Это сильно затрудняет увеличение мощности атомных бомб. У водородной бомбы никакой критической массы нет. Поэтому мощность таких бомб может быть значительно увеличена.

Производство водородных бомб на дейтерии и тритии связано с громадными расходами энергии. Дейтерий можно получать из тяжёлой воды. Для получения трития надо бомбардировать литий 6 нейтронами. Происходящая при этом реакция приведена на стр. 29. Наиболее мощным источником нейтронов являются атомные котлы. Через каждый квадратный сантиметр поверхности центральной части котла средней мощности выходит в защитную оболочку около 1000 миллиардов нейтронов. Сделав в этой оболочке каналы и поместив в них литий 6, можно получать тритий. Природный литий имеет два изотопа: литий 6 и литий 7. Доля лития 6 составляет всего 7,3%. Полученный же из него тритий оказывается радиоактивным. Испуская электроны, он превращается в гелий 3. Период полураспада трития равен 12 годам.

Советский Союз в короткий срок ликвидировал монополию США на атомную бомбу. После этого американские империалисты пытались запугивать миролюбивые народы водородной бомбой. Однако и эти расчёты поджигателей войны провалились. 8 августа 1953 г. на пятой сессии Верховного Совета СССР товарищ Маленков указал, что Соединённые Штаты не являются монополистами и в производстве водородной бомбы. Вслед за тем 20 августа 1953 г. было опубликовано Правительственное сообщение об успешном испытании водородной бомбы в Советском Союзе. В этом сообщении Правительство нашей страны ещё раз подтвердило своё неизменное желание добиться запрещения всех видов атомного оружия и установления строгого международного контроля за выполнением этого запрещения.

Можно ли сделать термоядерную реакцию управляемой и использовать энергию ядер водорода в промышленных целях?

Процесс превращения водорода в гелий не имеет критической массы. Поэтому его можно производить даже при небольшом количестве изотопов водорода. Но для этого надо создать новые источники высокой температуры, отличающиеся от атомного взрыва чрезвычайно малыми размерами. Возможно также, что с этой целью придётся использовать несколько более медленные термоядерные реакции, чем реакция между дейтерием и тритием. В настоящее время учёные работают над решением этих задач.

IV. ПУТИ МИРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

1. АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Атомная энергетика очень молода. Способы использования атомной энергии для мирных целей только начинают разрабатываться. Тем не менее уже сейчас можно рассмотреть некоторые пути мирного использования атомной энергии. При этом мы остановимся только на таких возможностях использования атомной энергии, которые обсуждаются в современной научной литературе и имеют серьёзное научное и техническое обоснование.

Мы познакомились с двумя способами освобождения атомной энергии: атомным взрывом и постепенным освобождением энергии в атомном котле. Оба эти способа пригодны для мирного использования.

Зарывая атомные бомбы на большую глубину, можно производить крупные промышленные взрывы *). Атомные взрывы могут значительно облегчить сооружение гидроэлектростанций, каналов, железных дорог; они позволят вскрывать месторождения полезных ископаемых и вести добычу открытым способом и т. д.

Особенно широкое применение атомной энергии связано с работой атомных котлов. Атомный котёл произво-

*) О применении взрывов в народном хозяйстве см. брошюру «Научно-популярной библиотеки» Гостехиздата: К. К. Андреев, Взрыв.

дит пять видов продуктов: плутоний, радиоактивный шлак, нейтроны, гамма-излучение и теплоту. Каждый из этих продуктов имеет большую практическую ценность. Посмотрим, как могут быть использованы продукты атомного котла.

2. АТОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

При делении урана в атомном котле возникает огромное количество теплоты, которую можно использовать для получения электрической энергии. Для этого надо построить атомную электростанцию. 70 килограммов ядерного горючего, израсходованные в атомном котле за год, дают годовую мощность Днепрогеса.

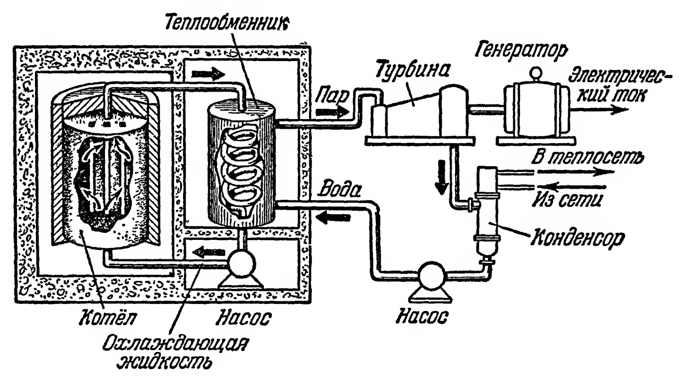


Рис. 24. Схема атомной электростанции.

В наши дни большое количество электрической энергии добывается на тепловых электростанциях. В котлах таких электростанций сжигают много топлива — угля, торфа, нефти или природного газа — для превращения воды в пар, который приводит в действие паровые турбины. Турбины заставляют работать генераторы, производящие электрический ток. Такие электростанции можно перевести на работу на ядерном горючем. Для этого надо реконструировать котельное отделение: вместо обычных паровых котлов поместить атомный котёл. Турбина, генератор и вся распределительная сеть обычной тепловой электростанции остаются при этом без существенных изменений.

На рис. 24 показана примерная схема атомной электростанции (общий вид такой электростанции изображён

в центре рисунка на обложке книги). Охлаждающая жидкость с помощью насоса непрерывным потоком проходит через котёл и поступает в теплообменник. Здесь навстречу ей движется вода, которая, нагреваясь, превращается в пар. Пар подаётся в турбину, приводит её в движение и выходит в конденсор. Там он охлаждается и вновь превращается в воду. Освобождаемая при охлаждении отработанного пара теплота может быть направлена в тепловую сеть для отопления зданий. Турбина соединена с генератором, производящим электрический ток.

При работе турбины и генератора часть подводимой к ним энергии тратится непроизводительно (трение и нагрев деталей и т. д.). Кроме того, значительная доля теплоты остаётся в отработанном паре. Поэтому только часть произведённой атомным котлом теплоты преобразуется в электрическую энергию. Для современных электростанций эту часть можно считать равной одной четверти (25%). Поэтому для получения такого же количества электрической энергии, какое производит Днепрогес, понадобится не 70, а 280 килограммов ядерного топлива в год. Но и эта величина совершенно ничтожна в сравнении с количеством угля или нефти, необходимым для получения такого же количества электроэнергии.

Атомные электростанции не нуждаются в кислороде для сжигания топлива и не дают дыма.

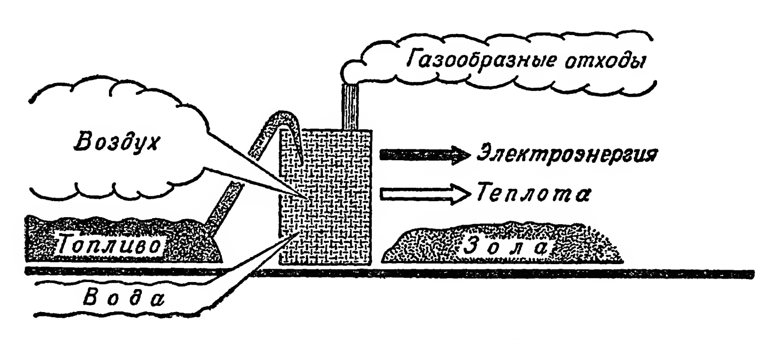
На рис. 25 слева показаны продукты, в которых нуждаются тепловые и атомные электростанции, а справа — вырабатываемые этими электростанциями продукты.

Атомные котлы — это «чудо-печки». Сжигая топливо в современных печах, мы получаем золу и дым, которые больше гореть не будут. Иное дело в атомных котлах. Расходуя один вид ядерного топлива — уран 235,— котёл производит другой вид топлива — плутоний 239. Расчёт показывает, что в котле, который за год сжигает тонну урана 235 и производит 6 миллиардов киловатт-часов электроэнергии *), возникает тонна осколков и тонна плутония: осколки (радиоактивный шлак) создаются в результате деления тонны урана 235, а плутоний образуется из тонны урана 238. Оставив полученный плутоний в котле, можно вновь расходовать его в течение года и опять

*) Такое количество электроэнергии Куйбышевская ГЭС будет ежегодно передавать в Москву.

получить столько же электроэнергии и новую тонну плутония за счёт урана 238. Таким образом при работе котла будет лишь постепенно расходоваться уран 238, который не является ядерным горючим.

Уменьшая число нейтронов, уходящих из атомного котла, можно создавать котлы, производящие в



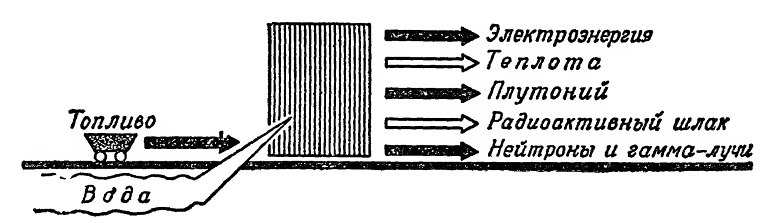


Рис. 25. Сравнение тепловой и атомной электростанций. Слева от каждой станции указаны продукты, необходимые для её работы; справа — вырабатываемые продукты.

1,5—2 раза больше ядерного топлива, чем израсходовано за то же время.

Большую ценность представляет и другой продукт котла — радиоактивный шлак (осколки). Он находит много важных практических применений *).

Атомную электростанцию можно построить в любом месте, вдали от источников топлива и даже от воды. Охлаждать котлы можно с помощью жидких металлов (натрия,

*) О способах использования радиоактивных продуктов, создаваемых в атомном котле, рассказывается в конце этой главы.

калия, висмута, свинца). Металлы быстрее других веществ нагреваются в котле и быстрее остывают в теплообменнике. Охлаждённый металл снова возвращается в котёл и, таким образом, не расходуется. Не расходуется также и то сравнительно небольшое количество воды, которое превращается в теплообменнике в пар и приводит в действие турбины. Отдав своё тепло в конденсоре, вода снова попадает в теплообменник. Так как расходы горючего на атомной электростанции невелики, снабжение станции топливом никаких трудностей не представляет.

27 июня 1954 г. в Советском Союзе вступила в строй первая промышленная атомная электростанция полезной мощностью 5 000 киловатт. Советские учёные и инженеры работают над созданием атомных электростанций мощностью 50—100 тысяч киловатт.

Создание атомных электростанций не означает, что не будут строиться гидроэлектростанции. Гидросооружения решают обычно целый ряд задач: орошение, обводнение, улучшение условий судоходства и т. д. Гидроэлектростанции производят дешёвую электроэнергию. Поэтому атомные электростанции будут в нашей стране, повидимому, включены в единую энергетическую систему вместе с новыми крупнейшими гидроэлектростанциями.

Переводя тепловые электростанции на ядерное горючее, можно сохранить огромные запасы угля и нефти. Уголь и нефть — это не только топливо; из них можно получать самые разнообразные продукты — бензин и смазочные масла, искусственный каучук и киноплёнку, взрывчатые и лекарственные вещества, пластмассы и духи, спирт и пищевые продукты. Когда уголь и нефть сжигают в топках, всё это бесследно исчезает.

При одинаковых расходах топлива паровые турбины производят тем больше энергии, чем выше температура пара. С увеличением температуры пара работа паровых двигателей оказывается всё более выгодной. Однако уже при температуре пара, близкой к 700° С, лопасти турбин начинают разрушаться.

Атомный котёл позволяет получать пар при температуре в несколько тысяч градусов. Но создание и использование такого пара окажется возможным только после того, как будут найдены материалы, способные сохранять свою прочность при столь высоких температурах.

3. ЗАПАСЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Велики ли запасы урана на Земле? Можно ли заменить уголь, нефть и другие виды топлива ядерным горючим?

В слое земной коры глубиной в 16 километров находятся тысячи миллиардов тонн урана. Правда бóльшая часть его рассеяна по всей толще земной коры и поэтому трудно доступна для использования. Однако, несомненно, что запасы урана могут надолго обеспечить человечество энергией.

Атомную энергию можно получать и из другого тяжёлого природного элемента — тория. Сам по себе торий не является ядерным горючим. Но его ядра, так же как и ядра урана 238, сильно поглощают медленные нейтроны. При этом торий превращается в уран 233.

Происходящая реакция может быть записана следующим образом:

$$\underset{\text{торий}}{{}_{90}Th^{232}} + \underset{\text{нейтрон}}{{}_{0}n^{1}} \rightarrow \underset{\text{торий}}{{}_{90}Th^{233}} \rightarrow \underset{\text{протактиний}}{{}_{91}Pa^{233}} + \underset{\text{электрон}}{{}_{-1}e^{0}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \underset{\text{уран}}{{}_{92}U^{233}} + \underset{\text{электрон}}{{}_{-1}e^{0}}.$$

Ядра урана 233, подобно ядрам урана 235 и плутония, хорошо делятся медленными нейтронами. Поэтому уран 233 также является ядерным горючим.

Помещая торий в атомный котёл, работающий на уране 235 или плутонии, можно получать значительное количество урана 233. Запасы тория на Земле примерно в 4 раза больше запасов урана.

Таким образом, оба эти элемента могут обеспечить человечество энергией на очень длительный срок.

Буржуазные учёные неоднократно предсказывали мрачное будущее человечеству, утверждая, что запасы энергии на Земле крайне ограничены и быстро иссякают. По их мнению Земля уже давно перенаселена и не далее как лет через 100—200 человечество, израсходовав основные запасы энергии, будет обречено на гибель. Подобные предсказания оказываются совершенно беспочвенными. Пытливый ум человека непрерывно расширяет наши возможности, открывает новые могучие источники

энергии, улучшает способы её производства и использования. Огромные запасы атомной энергии скрыты даже в тех материалах, которые уже сейчас служат её источниками. Но в будущем наука без сомнения позволит человечеству умножить и без того неиссякаемые источники энергии на Земле.

4. АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ И ТРАНСПОРТ

Огромные возможности будет иметь применение атомной энергии на транспорте, так как расходы атомного топлива оказываются незначительными даже при передвижении на очень большие расстояния. Правда, размеры и вес атомных котлов обычно настолько велики, что их нельзя разместить не только на автомобиле или паровозе, но даже и на океанском корабле. Однако уже в настоящее время удалось создать специальные атомные котлы, пригодные для размещения на ряде транспортных средств.

Повидимому, наиболее простым окажется использование атомной энергии на крупных морских и океанских кораблях. Атомная энергия будет приводить в движение турбину и связанный с ней гребной винт. На ядерном топливе можно будет совершать очень далёкие безостановочные плавания.

Атомному котлу не нужны ни воздух, ни кислород для сжигания топлива. Это позволяет применять атомную энергию и на подводных лодках. Подводные лодки, работающие за счёт атомной энергии, смогут проходить большой путь под водой, не поднимаясь на поверхность для пополнения запасов топлива и кислорода. Такие подводные корабли могут быть использованы для мирных целей, например для плавания в Арктике и Антарктике подо льдом в любое время года. Обладая большой грузоподъёмностью они окажутся весьма полезным видом морского транспорта.

Использование атомной энергии на железных дорогах и автотранспорте связано с задачей разработки маломощных котлов. Суточный расход горючего для тепловоза, работающего на атомной энергии, составит всего лишь несколько граммов урана 235.

Атомная энергия будет применяться и в авиации. Одним из типов авиационных двигателей, пригодных для

использования атомной энергии, может быть реактивный двигатель, проект которого изображён на рис. 26. При движении со скоростью, близкой к скорости звука (1200 километров в час), двигатель засасывает большое количество воздуха. Проходя через отверстия в атомном котле, воздух нагревается до очень высокой температуры

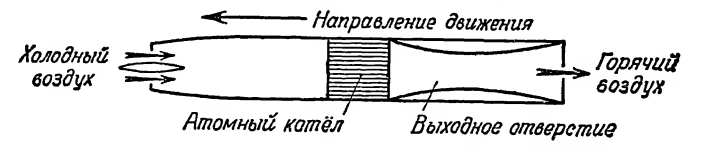


Рис. 26. Схема реактивного двигателя на атомной энергии.

и выходит из двигателя со значительно большей скоростью, чем у поступающего в двигатель холодного воздуха. Вследствие этого на двигатель действует сила, толкающая его в сторону, противоположную уходящему горячему воздуху. Под действием этой силы самолёт приобретает большую скорость. Для такого двигателя необходимы материалы, способные выдерживать очень высокие температуры.

Несколько проще построить другой авиационный двигатель — паровую турбину, работающую на атомной

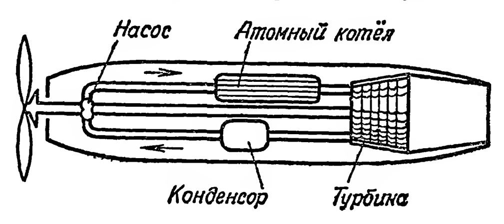


Рис. 27. Схема авиационного двигателя с паровой турбиной на атомной энергии.

энергии. Проект такого двигателя показан на рис. 27. Насос перекачивает в атомный котёл рабочую жидкость, которая, проходя через котёл, превращается в пар. Попадая на лопасти паровой турбины, пар заставляет их быстро вращаться. Турбина соединена с пропеллером, вращение которого и приводит в движение самолёт. Отработанный пар охлаждается в конденсоре и вновь перекачивается насосом в котёл.

В этом двигателе температура рабочего вещества (пара) значительно меньше, чем в реактивном двигателе. Поэтому здесь нет столь высоких требований к устойчивости материалов. Но имеется другая трудность: необходимо защитить металлические части турбины, конденсора и насоса от разрушительного действия радиоактивных излучений, освобождаемых в котле и уносимых рабочим веществом. Самолёты с такими двигателями смогут развивать скорость от 300 до 500 километров в час и перевозить большие грузы на очень далёкие расстояния.

5. КОСМИЧЕСКИЙ КОРАБЛЬ

Люди давно стремятся достигнуть Луны и ближайших к Земле планет солнечной системы. Замечательный русский учёный К. Э. Циолковский создал научно обоснованные проекты кораблей для межпланетных перелётов. Он показал, что таким кораблём может служить ракета, способная двигаться в безвоздушном космическом пространстве.

Ракета — это снаряд, внутри которого находится запас горючего вещества (рис. 28). С помощью насоса горючее постепенно перекачивается в камеру сгорания. Здесь оно сжигается, а возникающие при горении горячие

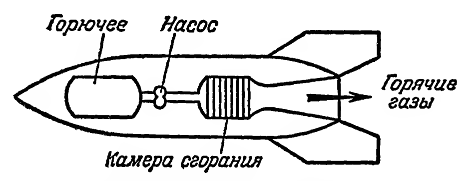


Рис. 28. Схема ракеты с жидким горючим.

газы с большой скоростью устремляются в выходное отверстие. При этом ракета испытывает отдачу, подобную отдаче ружья или пушки при вылете пули или снаряда, и приходит в движение. Такую же отдачу ракета испытывает и в безвоздушном пространстве. Чем быстрее вылетают горячие газы, тем больше скорость ракеты. А скорость вылета газов определяется их температурой; значит, чем больше газы нагреваются, тем быстрее они покидают ракету.

Для того чтобы преодолеть земное притяжение и вылететь в окружающее мировое пространство, ракета

должна двигаться со скоростью, большей 11 200 метров в секунду. Но скорость истечения газа из ракеты даже у самого лучшего горючего оказывается недостаточной для преодоления силы земного притяжения. Использование атомной энергии позволяет преодолеть эту трудность. В атомной ракете рабочим веществом может служить жидкий водород, то-есть газ водород, сильно охлаждённый (до — 253° С) и превращённый в жидкость. Камеру сгорания заменяет атомный котёл. Проходя через котёл, жидкий водород снова превращается в газ. Так как внутри котла температура очень велика, водород можно нагреть до температуры, значительно большей, чем у продуктов обычного горения. Поэтому скорость выбрасываемого атомной ракетой водорода будет значительно больше скорости газов, которые возникают при сжигании топлива. Такая ракета сможет вырваться в мировое пространство. Основная трудность в создании атомной ракеты состоит теперь в отыскании материалов, устойчивых при весьма высоких температурах и хорошо отводящих тепло в окружающее ракету пространство.

6. МЕЧЕНЫЕ АТОМЫ

Большинство процессов, происходящих в природе, связано с движением атомов и молекул. Растворение соли в воде, выплавка металла в доменной печи, дыхание и питание живых организмов — всё это сопровождается движением мельчайших частиц вещества. Для решения многих задач науки и техники очень важно иметь возможность проследить за движением атомов и молекул в сложных химических реакциях, при различных производственных процессах, в организме растений, животных и человека, не нарушая хода этих процессов и не повреждая организма. Современная наука решила эту задачу следующим образом. Существует несколько методов обнаружения радиоактивных излучений. Быстрые частицы и гамма-лучи можно регистрировать с помощью счётчиков Гейгера-Мюллера или фотографических пластинок. Таким путём судят о присутствии радиоактивных веществ и определяют их концентрацию.

В настоящее время можно получить любой элемент в радиоактивном состоянии. Радиоактивные атомы по химическим свойствам ничем не отличаются от обычных

устойчивых атомов того же элемента, но, распадаясь и выбрасывая быстрые частицы и гамма-лучи, они сами сообщают о своём присутствии. Такие атомы называют мечеными. Меченые атомы можно приготавливать с помощью «ядерной артиллерии». Однако количество получаемых таким путём радиоактивных веществ оказывается крайне малым, а стоимость очень большой.

В атомном котле в виде осколков получают большое количество радиоактивных атомов элементов, расположенных в средней части периодической системы (от тридцатого до шестьдесят второго элемента). Если в защитной оболочке котла сделать канал (см. рис. 20) и вводить в него различные вещества, то они подвергнутся интенсивной бомбардировке нейтронами, уходящими из атомного котла. В результате многие атомы этих веществ станут радиоактивными. Таким способом можно получать значительные количества радиоактивного лития, бора, углерода, азота, кислорода и других элементов, стоящих в начале периодической системы.

7. ГДЕ И КАК ПРИМЕНЯЮТСЯ МЕЧЕНЫЕ АТОМЫ

В жизни растений важную роль играет фосфор, извлекаемый ими из почвы в виде солей фосфорной кислоты — фосфатов. Как узнать, каким частям растения он более нужен, где́ он накапливается в различные периоды жизни растения? Для этого приготовляют фосфат, содержащий небольшое количество радиоактивного фосфора. Растворив фосфат в воде, поливают ею землю вокруг растения. Спустя некоторое время растение вырывают, очищают от земли и кладут на фотопластинку, завёрнутую в чёрную бумагу. Радиоактивный фосфор, распадаясь, испускает быстрые электроны. Они проходят через бумагу и действуют на фотопластинку. Места, на которые попали электроны, оказываются на фотоснимке более светлыми. На рис. 29 показан такой снимок — куст бегонии, подкормленный радиоактивным фосфором. Видно, что фосфор накапливается преимущественно в корнях и стебле и почти не содержится в листьях бегонии. Так радиоактивные атомы позволяют «видеть» распределение фосфора в живом растении.

Гамма-лучи, испускаемые радиоактивными атомами, проходят через большие слои вещества. Их можно обнаруживать и измерять счётчиком Гейгера-Мюллера.

Вводя в организм человека с пищей небольшие количества радиоактивного железа, натрия, иода и других элементов и регистрируя гамма-лучи, выходящие из разных частей тела, можно изучать распределение атомов этих элементов в человеческом организме. Не нанося никакого ущерба здоровью исследуемых людей, ничего не разрезая и не удаляя, учёные узнают сколько железа оказалось в лёгких, сердце, мышцах человека.

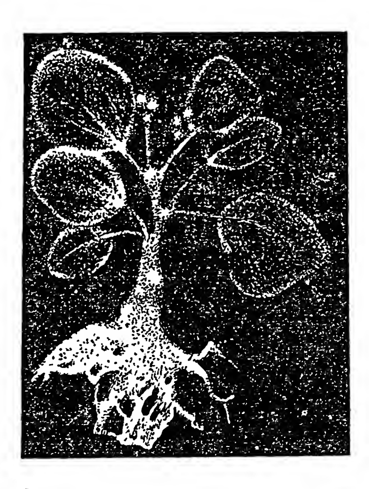


Рис. 29. Отпечаток куста бегонии, питавшегося радиоактивным фосфором.

Меченые атомы облегчают поиски лекарственных веществ для лечения гипертонии, малярии и других болезней. Они широко используются в технике для исследования состава и строения металлов и сплавов, для быстрого обнаружения ничтожных примесей в металле, стекле, бумаге, пластмассе, резине и других материалах. С их помощью изучают износ деталей машин под влиянием трения и подбирают смазочные материалы; контролируют качество продукции и находят залежи полезных ископаемых. Область применения меченых атомов расширяется с каждым днём *).

8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙТРОНОВ И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Большую ценность представляют и последние два продукта атомного котла — нейтроны и гамма-лучи. Котёл производит их в огромных количествах. Например, из котла мощностью в 10 000 киловатт, через площадку в квадратный сантиметр каждую секунду выходит 60 000 миллиардов нейтронов. Гамма-излучение такого котла сравнимо с излучением нескольких тонн радия.

*) Подробнее о меченых атомах и их использовании см. брошюру «Научно-популярной библиотеки» Гостехиздата: Ан. Н. Несмеянов, Меченые атомы.

Нейтроны, производимые атомным котлом, используются для искусственного превращения элементов. Имеют они и ряд других применений. В металлах, сплавах и других веществах, с помощью нейтронов можно изучать расположение атомов, от которого зависят многие свойства этих веществ (прочность, твёрдость и т. д.). Нейтроны позволяют исследовать устройство молекул, которые входят в состав белковых веществ живых организмов, и решать много других важных научных задач.

Гамма-излучение котла также может быть использовано для многих научных и практических целей — для лечения заболеваний, просвечивания крупных деталей, обнаружения скрытых дефектов в металле и т. д.

* *
*

Мы рассмотрели несколько способов мирного использования атомной энергии. Однако широкое использование нового могучего источника энергии связано с решением ряда серьёзных научных и технических задач. Для размещения атомных двигателей на самолётах, паровозах, автомобилях, космических кораблях необходимо значительно уменьшить размеры и вес атомных котлов, а также найти лёгкие защиты от радиоактивных излучений. Осуществление многих проектов потребует материалов, способных длительное время выдерживать воздействие чрезвычайно высоких температур. Придётся создавать сплавы, не разрушающиеся под влиянием радиоактивных излучений, вещества, способные быстро отводить тепло в окружающее пространство. Понадобятся новые способы автоматического контроля многих промышленных процессов, связанных с атомной энергетикой, и т. д.

Атомная энергетика будет оказывать всё возрастающее влияние на развитие современной науки и техники. Решение поставленных ею проблем неизбежно приведёт к появлению новой, более совершенной техники. Наука несомненно справится с этими задачами, позволит лучше использовать богатейшие возможности, заложенные в атомной энергетике. Она осуществит не только описанные здесь проекты, но и найдёт много новых ещё более замечательных способов использования атомной энергии на благо всем народам мира.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые люди узнали об атомной энергии более пятидесяти лет назад, когда было открыто явление радиоактивности. Понадобилось более сорока лет упорной работы учёных разных стран, чтобы найти способы производства этой энергии в больших количествах. Важный вклад в решение этой задачи внесли советские учёные.

Атомная энергия таит в себе огромные возможности. Мирное использование её позволит создать новую мощную промышленность, улучшит многие производственные процессы, изменит лицо нашего транспорта, преобразит природу. Могучие атомные электростанции возникнут в пустынных районах. Их энергия вызовет к жизни новые города, заводы и фабрики. По водным просторам поплывут небывалые корабли. Атомные двигатели приведут в движение паровозы, самолёты, автомобили. Космические ракеты будут переносить людей на другие планеты.

Овладение атомной энергией — яркое свидетельство могущества науки.

В капиталистических странах этот новый источник энергии применяется главным образом в военных целях. Громадные средства ежегодно расходуются на производство атомных бомб и строительство заводов атомного оружия. Нынешние хозяева Америки — Морганы, Дюпоны, Рокфеллеры и Меллоны — упорно тормозят работы по промышленному использованию атомной энергии. В условиях надвигающегося на капиталистический мир экономического кризиса о широком мирном использовании атомной энергии в США не может быть и речи. Одностороннее военное использование атомной энергии является новым убедительным свидетельством гнилости капиталистического строя, его неспособности к прогрессивному развитию производительных сил.

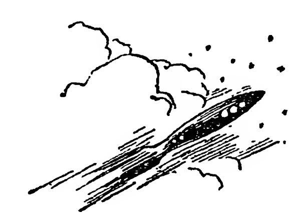
В Советском Союзе наука и техника достигли небывалого расцвета. Мы строим коммунизм, используя все достижения современной науки и техники. Атомная энергия вместе с гигантскими гидроэлектростанциями и другими новыми источниками энергии создаёт богатейшие возможности дальнейшего расцвета нашей страны. Как указано в сообщении ТАСС от 18 сентября 1953 г. «...в Советском Союзе ведутся работы по использованию атомной энергии для промышленных целей. Советский Союз

считает своей важнейшей задачей добиться того, чтобы атомная энергия была поставлена на службу делу мирного прогресса».

Американские империалисты пытались использовать атомное оружие для шантажа и запугивания других стран. Угрозой атомного нападения они надеялись проложить себе путь к мировому господству. Однако Советский Союз успешно ликвидировал монополию США на все виды атомного оружия.

Советский Союз имеет атомное и водородное оружие, но мы ведём последовательную борьбу за запрещение этого оружия, за использование атомной энергии только в мирных целях. В этой борьбе нас поддерживает всё прогрессивное человечество.

Лагерь мира является грозной силой, с которой не могут не считаться те, кто стремится разжечь новую мировую войну. Ряды сторонников мира растут и крепнут с каждым днём. Сотни миллионов простых людей требуют запретить атомное оружие, направить все усилия науки на решение вопросов, связанных с промышленным использованием атомной энергии. Как указал товарищ Маленков в отчётном докладе Центрального комитета ВКП(б) XIX съезду партии, «...такое использование атомной энергии безгранично расширяет власть человека над стихийными силами природы, открывает перед человечеством колоссальные возможности роста производительных сил, технического и культурного прогресса, увеличения общественного богатства».



Периодическая система элементов Д.И.Менделеева

Периоды	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ										
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			0
1	H 1 Водород 1,008										He 2 Гелий 4
2	Li 3 Литий 6,9	Be 4 Бериллий 9	5 B Бор 10,8	6 C Углерод 12	7 N Азот 14	8 O Кислород 16	9 F Фтор 19				Ne 10 Неон 20,2
3	Na 11 Натрий 23	Mg 12 Магний 24,3	13 Al Алюминий 27	14 Si Кремний 28,1	15 P Фосфор 31	16 S Сера 32,1	17 Cl Хлор 35,5				Ar 18 Аргон 39,9
4	K 19 Калий 39,1	Ca 20 Кальций 40,1	Sc 21 Скандий 45,1	Ti 22* Титан 47,9	V 23 Ванадий 51	Cr 24 Хром 52	Mn 25 Марганец 54,9	Fe 26 Железо 55,9	Co 27 Кобальт 58,9	Ni 28 Никель 58,7	
	29 Cu Медь 63,6	30 Zn Цинк 65,4	31 Ga Галлий 69,7	32 Ge Германий 72,6	33 As Мышьяк 74,9	34 Se Селен 79	35 Br Бром 79,9				Kr 36 Криптон 83,7
5	Rb 37 Рубидий 85,5	Sr 38 Стронций 87,6	Y 39 Иттрий 88,9	Zr 40 Цирконий 91,2	Nb 41 Ниобий 92,9	Mo 42 Молибден 96	Tc 43 Технеций	Ru 44 Рутений 101,7	Rh 45 Родий 102,9	Pd 46 Палладий 106,7	
	47 Ag Серебро 107,9	48 Cd Кадмий 112,4	49 In Индий 114,8	50 Sn Олово 118,7	51 Sb Сурьма 121,8	52 Te Теллур 127,6	53 J Иод 129,6				Xe 54 Ксенон 131,3
6	Cs 55 Цезий 132,9	Ba 56 Барий 137,4	La 57-71* Лантан 138,9	Hf 72 Гафний 178,6	Ta 73 Тантал 180,9	W 74 Вольфрам 183,9	Re 75 Рений 186,3	Os 76 Осьмий 190,2	Ir 77 Иридий 193,1	Pt 78 Платина 195,2	
	79 Au Золото 197,2	80 Hg Ртуть 200,6	81 Tl Таллий 204,4	82 Pb Свинец 207,2	83 Bi Висмут 209	84 Po Полоний 210	85 At Астатин				Rn 86 Радон 222
7	Fr 87 Франций	Ra 88 Радий 226	Ac 89 Актиний 227	Th 90 Торий 232,1	Pa 91 Протактиний 231	U 92** Уран 238,1					

* РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Ce 58 Церий 140,1	Pr 59 Празеодим 140,9	Nd 60 Неодим 144,3	Pm 61 Прометий	Sm 62 Самарий 150,1	Eu 63 Европий 152	Gd 64 Гадолиний 156,9
Tb 65 Тербий 159,2	Dy 66 Диспрозий 162,5	Ho 67 Гольмий 164,9	Er 68 Эрбий 167,2	Tu 69 Тулий 169,4	Yb 70 Иттербий 173	Lu 71 Лютеций 175

** ТРАНСУРАНОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Np 93 Нептуний	Pu 94 Плутоний	Am 95 Америций	Cm 96 Кюрий	Bk 97 Берклий	Cf 98 Калифорний